

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
I.T.I. MECÁNICA

DISEÑO DE UN CONDENSADOR DE VAPOR
AXIAL PARA UNA CENTRAL DE CICLO
COMBINADO

AUTOR: DIEGO TORRES ARROJO

TUTOR: ANTONIO SORIA VERDUGO

FEBRERO 2012

ÍNDICE

Resumen	X
Abstract.....	X

DOCUMENTO N° 1: MEMORIA

1 OBJETIVOS Y ALCANCE	1
2 ANTECEDENTES	3
2.1 CONDENSADOR DE SUPERFICIE	3
2.2 ESPECIFICACIÓN DEL CONDENSADOR	5
3 FUNDAMENTOS DELCONDENSADOR	12
3.1 CONSIDERACIONES TEÓRICAS.....	12
4 SELECCIÓN DE MATERIALES	23
4.1 MATERIAL Y CALIDAD DE LOS TUBOS	23
4.2 MATERIAL PLACA TUBULAR.....	28
4.3 MATERIAL PLACAS SOPORTE.....	31
4.4 MATERIAL POZO	33
4.5 MATERIAL DE LAS FUNDACIONES.....	33
4.6 MATERIAL CUELLO INFERIOR Y JUNTA DE EXPANSIÓN	34
4.7 MATERIAL CUERPO Y CAJAS DE AGUA	35
5 CÁLCULOS	37
5.1 DATOS PUNTO DE DISEÑO.....	37
5.2 CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN DE CALOR.....	39
5.3 CÁLCULO DEL ÁREA DE INTERCAMBIO DE CALOR	42
5.4 CÁLCULO DEL CALOR DEL AGUA DE CIRCULACIÓN	45

5.5 BALANCE DE ENERGÍA Y MATERIA DEL CONDENSADOR.....	46
5.6 CÁLCULO DEL NÚMERO DE TUBOS DEL CONDENSADOR	48
5.7 CÁLCULO DE LA LONGITUD EFECTIVA DE LOS TUBOS	49
5.8 CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE CARGA DEL AGUA DE CIRCULACIÓN	49
5.9 CÁLCULO DEL NÚMERO DE PLACAS SOPORTE	54
5.10 ANÁLISIS DE VIBRACIONES DEL HAZ TUBULAR	54
6 DIMENSIONAMIENTO Y HOJAS DE DATOS	62
7 DESCRIPCIÓN DEL CONDENSADOR.....	64
7.1 CONDENSADOR ÚNICA PRESIÓN	64
7.2 DESCRIPCIÓN GENERAL	66
7.3 INSTALACIÓN GENERAL.....	67
7.4 DESCRIPCIÓN DE LAS PARTES DEL CONDENSADOR.....	71
8 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.....	88
8.1 DESCRIPCIÓN DEL CIRCUITO DE CIRCULACIÓN.....	88
8.2 CIRCUITOS AGUA DE CIRCULACIÓN	89
8.3 REFRIGERANTES AGUA DE CIRCULACIÓN	91
8.4 TRATAMIENTO AGUA DE CIRCULACIÓN	98
9 INFLUENCIA DEL GRADO DE VACÍO EN EL CONDENSADOR.....	100
9.1 CAUSAS DEL BAJO VACÍO	101
9.2 FUGAS	101
9.3 BAJO INTERCAMBIO DE CALOR.....	103
9.4 DEFECTOS EN EL SISTEMA DE ELIMINACIÓN DE AIRE	104
9.5 LIMPIEZA.....	105
10 SISTEMAS PRINCIPALES DEL CONDENSADOR	106
10.1 SISTEMAS DE ELIMINACIÓN DE INCONDENSABLES	106

10.2 SISTEMA VAPOR CALENTAMIENTO (“ <i>SPARGER STEAM</i> ”)	112
10.3 APORTE AGUA DESMINERALIZADA (“ <i>MAKE-UP</i> ”)	113
11 SISTEMA DE SEGURIDAD	115
11.1 VÁLVULA ROMPEDORA DE VACÍO	115
11.2 DISCOS DE RUPTURA	117
12 MONTAJE	122
12.1 INTRODUCCIÓN	122
12.2 SECUENCIA DE MONTAJE	123
13 PUESTA EN MARCHA	135
13.1 PUESTA EN MARCHA INICIAL	135
13.2 PUESTA EN MARCHA NORMAL	138
13.3 PUESTA EN MARCHA FRÍA OPERANDO CON EL 60% DEL CAUDAL	141
13.4 PUESTA EN MARCHA DEL HAZ TUBULAR FUERA DE SERVICIO	141
13.5 PARADA DEL CONDENSADOR	142
14 MODOS DE OPERACIÓN	145
14.1 OPERACIÓN NORMAL	145
14.2 OPERACIÓN CON UN SOLO HAZ TUBULAR EN SERVICIO	148
15 BIBLIOGRAFÍA	151

DOCUMENTO N° 2: ESTUDIO ECONÓMICO

1 INTRODUCCIÓN	152
1.1 PRESUPUESTO DEL CONDENSADOR DE VAPOR	152

DOCUMENTO N° 3: ANEXOS

ANEXO A: CURVAS DE FUNCIONAMIENTO	157
ANEXO B: PRUEBA VACÍO HACES TUBULARES	159
ANEXO C: PROGRAMA DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO	162
ANEXO D: UTILIDAD DEL CONDENSADOR.....	163
ANEXO E: TABLAS DE EQUIVALENCIAS DE UNIDADES	166

DOCUMENTO N° 4: PLIEGO DE CONDICIONES

1 PLIEGO DE CONDICIONES	167
1.1 CONDICIONES GENERALES DE OFERTA	167
1.2 CONDICIONES GENERALES DE COMPRA	179
1.3 ESPECIFICACIONES DE MATERIALES Y EQUIPOS	191
1.4 NOTAS GENERALES PARA LOS EQUIPOS	195
1.5 NOTAS GENERALES PARA LA INSPECCIÓN.....	197

DOCUMENTO N° 5: PLANOS

Plano 01 Descripción general del condensador

Plano 02 Placa tubular

Plano 03 Secuencia de montaje

ÍNDICE DE FIGURAS

DOCUMENTO N° 1: MEMORIA

Figura 3-1: Esquema condensador	15
Figura 4-1: Probabilidad erosión-corrosión en los tubos	24
Figura 4-2: Resistencia a los cloruros de los tubos	25
Figura 4-3: Junta de expansión, cuello envolvente	30
Figura 4-4: Agujeros placa tubular.....	30
Figura 4-5: Fundaciones del condensador.....	34
Figura 4-6: Junta de expansión en taller.....	35
Figura 5-1: Pérdida de carga para tubos de galga 18 BWG	50
Figura 5-2: Factor de corrección de temperatura para la fricción de los tubos	51
Figura 5-3: Pérdidas de carga en caja de agua y final de tubos con un paso.....	53
Figura 5-4: Determinación de L_U	57
Figura 6-1: Dimensiones Generales Condensador Axial	62
Figura 7-1: Sección típica condensador axial.....	70
Figura 7-2: Pozo de condensados.....	73
Figura 7-3: Banco condensador.....	74
Figura 7-4: Placa tubular	76
Figura 7-5: Placas Soporte	78
Figura 7-6: Disposición de los tubos en el haz.....	79
Figura 7-7: Pantalla de impacto	80
Figura 7-8: Junta de expansión.....	85
Figura 7-9: Brida cajas de agua.....	86
Figura 7-10: Cajas de agua.....	87

Figura 8-1: Circuito agua de circulación.....	88
Figura 8-2: Circuito abierto.....	89
Figura 8-3: Circuito semiabierto	90
Figura 8-4: Circuito Cerrado.....	91
Figura 8-5: Torre de Refrigeración “Hammon”	96
Figura 8-6: Torre de Refrigeración “Scam”	97
Figura 10-1: Sistema de baffles haz tubular.....	106
Figura 10-2: Partes de un eyector.....	107
Figura 10-3: Eyector de extracción de aire 1	108
Figura 10-4: Esquema de una tobera de agua.....	109
Figura 10-5: Eyector de extracción de aire 2	109
Figura 10-6: Bomba de vacío de anillo líquido.....	111
Figura 10-7: Funcionamiento bomba de vacío de anillo líquido.....	112
Figura 11-1: Válvula de mariposa.....	116
Figura 11-2: Actuador neumático	116
Figura 11-3: Disco de ruptura abovedado convencional.....	118
Figura 11-4: Disco de ruptura abovedado invertido.....	119
Figura 11-5: Discos de ruptura abovedado invertido con hojas de cuchilla.....	119
Figura 11-6: Disco de ruptura plano	120
Figura 11-7: Disco de ruptura monobloque	121
Figura 12-1: Situación final de los pernos de anclaje	124
Figura 12-2: Izado haz tubular	127
Figura 12-3: Silicona en la placa tubular	128
Figura 12-4: Vista de los 6 testigos	129
Figura 12-5: Secuencia de apretado de las tuercas de las cajas de agua	130
Figura 12-6: Detalle cajas de agua montadas.....	130

Figura 12-7: Cuello Inferior montado en taller	131
Figura 12-8: Embalaje del cuello para transporte marítimo	132
Figura 12-9: Condensador montado.....	134
Figura 14-1: Posición válvulas extracción de incondensables, con un haz fuera de operación	149
Figura 14-2: Posición válvulas de venteo en funcionamiento sólo con un banco	149

ÍNDICE DE TABLAS

DOCUMENTO N° 1: MEMORIA

Tabla 2-1: Condiciones ambientales de la central.....	9
Tabla 2-2: Parámetros ambientales del interior del edificio de la turbina.....	9
Tabla 2-3: Datos suministrados por el cliente para el diseño del condensador.....	11
Tabla 4-1: Composición agua de circulación	25
Tabla 4-2: Materiales de los tubos del condensador	27
Tabla 4-3: Materiales utilizados en las placas tubulares y normas que deben cumplir.....	28
Tabla 4-4: Tolerancia taladrado de las placas tubulares.....	31
Tabla 4-5: Tolerancia taladrado de las placas soporte	32
Tabla 4-6: Materiales cuerpo y cajas de agua	36
Tabla 5-1: Datos del cliente	38
Tabla 5-2: Coeficiente de transmisión de calor sin corregir U_1	40
Tabla 5-3: Factor de corrección del agua de circulación F_w	41
Tabla 5-4: Factor de corrección para el material y la galga del tubo	42
Tabla 5-5: Balance de energía y materia	47
Tabla 5-6: Factor de corrección de la galga para la fricción de los tubos	52
Tabla 5-7: Factor de corrección K_1	58
Tabla 5-8: Factor de corrección K_2	58
Tabla 5-9: Factor de corrección K_3	59
Tabla 5-10: Resultado del análisis de vibraciones por CONNORS	61
Tabla 6-1: Hoja de datos	63
Tabla 12-1: Pesos de las distintas partes del condensador	123

DOCUMENTO N° 2: ESTUDIO ECONÓMICO

Tabla 1-1: Presupuesto del condensador de vapor	152
Tabla 1-2: Presupuesto de las placas tubulares del banco de tubos	153
Tabla 1-3: Presupuesto de las placas soportes del banco de tubos.....	153
Tabla 1-4: Presupuesto de los tubos del banco de tubos	154
Tabla 1-5: Presupuesto de la calderería del banco de tubos	154
Tabla 1-6: Presupuesto de varios del banco de tubos.....	154
Tabla 1-7: Presupuesto del banco de tubos	155
Tabla 1-8: Presupuesto de la calderería.....	155
Tabla 1-9: Presupuesto de los accesorios	156
Tabla 1-10: Presupuesto de la calderería y accesorios	156
Tabla 1-11: Presupuesto de gastos del proyecto	156
Tabla 1-12: Presupuesto de gastos varios	156

RESUMEN

Este proyecto se basa en el diseño un condensador de vapor vertical de superficie para una central eléctrica de ciclo combinado. La central de ciclo combinado tiene una potencia de 220 MW y consta de doble eje (2-2-1), es decir: dos turbina de gas (143 MW), dos calderas de recuperación de tres niveles de presión HRSG (Heat Recover Steam Generator), una turbina de vapor de (77 MW). En este proyecto, los parámetros de diseño son definidos en la especificación técnica del cliente. En dicho proyecto se detallan las partes de dicho condensador, componentes, materiales utilizados, fabricación y un presupuesto detallado. El diseño, componentes, elección de materiales, fabricación y secuencia de montaje, puesta en marcha y mantenimiento del condensador de vapor, ha sido realizado de acuerdo con el HEI (9 edición).

ABSTRACT

This project is based on the design of a vertical surface steam condenser for a Combined Cycle Power Plant. This combined cycle have a nominal rating around 220 MW and double-shaft configuration based in the following components: Two gas turbine (143 MW), two three-pressure level HRSG (Heat Recover Steam Generator), one condensing steam turbine (77 MW) whose exhaust is sent to the condenser. In this project, the design parameters are defined by the technical specification of the costumer. The components, materials selection, manufacturing and budget are explained in this project. The design, components, choice materials, manufacture, and assembly sequence, start up and maintenance has been realized according to HEI (9th edition).

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE
INGENIEROS INDUSTRIALES**

**DISEÑO DE UN CONDENSADOR DE VAPOR
AXIAL PARA UNA CENTRAL DE CICLO
COMBINADO**

DOCUMENTO N° 1 MEMORIA

DIEGO TORRES ARROJO

FEBRERO 2012

1 OBJETIVOS Y ALCANCE

El objetivo de este proyecto es el dimensionado y selección de materiales de un condensador de vapor. La elección de los materiales influirá de forma decisiva en las dimensiones del equipo, modo de fabricación, vida útil del mismo y sobre todo en el costo del equipo condensador.

El trabajo realizado en este proyecto aborda el diseño de un condensador de vapor axial de superficie, mediante su dimensionamiento térmico, además de la selección de materiales, sistemas, fabricación y secuencia de montaje de un condensador para una instalación nueva de ciclo combinado en España.

Dentro del presente proyecto se realiza una descripción de las características y funcionamiento de un condensador de vapor axial de superficie, incluyendo el dimensionamiento para un caso real. Para el diseño del condensador se han tomado las condiciones de vapor proporcionadas por el cliente.

Las principales ventajas que podemos obtener en una central de ciclo combinado o en cualquier otra instalación productora de energía eléctrica mediante condensadores de vapor son:

- Aumento de la energía utilizable en el vapor, mediante la disminución del vacío en el condensador disminuyendo la presión de escape del vapor.
- Aumento del rendimiento termodinámico del ciclo de vapor, debido a la disminución de la temperatura final del vapor.
- Menor aporte externo de agua debido a que se puede recuperar el vapor condensado para reutilizarlo como agua de alimentación de las calderas.

El trabajo que desarrolla un caudal de vapor con unas condiciones de presión y temperatura determinadas, es mayor cuanto más elevada sea la diferencia de temperaturas, por lo tanto, el calor que se transforma en trabajo depende exclusivamente del valor de dichas temperaturas.

Por lo tanto cuanto mayor sea la diferencia de temperaturas, mayor será la cantidad de calor transformable.

Para aumentar esta caída térmica y disminuir la contrapresión, así como el trabajo a ella correspondiente y llevar hasta el máximo el límite de expansión se hace llegar el vapor que sale de la turbina hasta el condensador.

Tanto los cálculos como la elección de los materiales, análisis de vibraciones de este proyecto están basados en el código del Heat Exchange Institute para condensadores de vapor de superficie.

2 ANTECEDENTES

El diseño, materiales, fabricación y tests del condensador de vapor de este proyecto, se ha realizado siguiendo las consideraciones y cálculos de la norma americana del Heat Exchange Institute (HEI) para condensadores de superficie y American Society of Mechanical Engineers (ASME), debido a esto, los cálculos y tablas no se encuentran en el Sistema Internacional.

Sin embargo, al final de cada cálculo se realiza su conversión a unidades del Sistema Internacional para que sea más fácil su comprensión.

2.1 CONDENSADOR DE SUPERFICIE

La misión fundamental del condensador de superficie es condensar el vapor extraído del cuerpo de baja presión de la turbina de vapor, para así aportar el agua condensada con un nivel muy bajo oxígeno (ppb) a la caldera de recuperación del ciclo combinado, ayudando a aumentar el rendimiento del ciclo agua-vapor, el condensador también servirá, en ocasiones como cámara de almacenamiento para el agua condensada (pozo de condensado). La segunda función del condensador de superficie es desgasificar y recalentar el condensado que cae de los tubos y el fluido de todas las purgas y drenajes, hasta la temperatura de saturación del cuerpo del condensador. El cuerpo del condensador de superficie puede también funcionar intermitentemente como un condensador receptor de grandes cantidades de vapor en el caso de by-pass de turbina, o bien procedente del generador de vapor durante la puesta en marcha, o vertidos de vapor en caso de emergencia durante la operación normal.

Termodinámicamente, el cometido principal del condensador de superficie es extraer el calor latente del vapor proveniente de la turbina, hasta llevar este vapor a la temperatura de saturación, este vapor extraído pasa al agua de circulación a través de los tubos.

Físicamente el condensador de superficie es una cámara consistente en un gran cuerpo de acero, atravesado por muchos tubos paralelos. A través de ellos pasa agua de circulación, que condensa el vapor que fluye por el exterior de los tubos. Los extremos de los tubos se expanden y sueldan a los extremos de las placas tubulares, situadas una a

cada lado del condensador, estas placas tubulares y van embridadas o soldadas al cuerpo del condensador, dependiendo del material de las mismas.

A lo largo de toda la longitud de los tubos se sitúan las placas soportes que son atravesadas por los tubos, estas placas soporte se sueldan a la carcasa del cuerpo del condensador y la separación de las mismas, la determina el material de la que están compuestos los tubos, para evitar vibraciones en los tubos debida al vapor de turbina que cae sobre ellos. Estas placas soporte además de soldarse al cuerpo del condensador, van atravesadas por unos rigilizadores llamados “Tie Rods”.

Para proporcionar agua de refrigeración a los tubos y posteriormente extraerla, se construyen cámaras separadas de acero, denominadas cajas de agua, que se embridan a las placas tubulares. A estas cajas de agua se conectan tuberías de grandes dimensiones (conexiones de agua de circulación) que hacen llegar el agua de refrigeración proveniente de las bombas de agua de circulación a los tubos del condensador.

La parte más baja del cuerpo corresponde al depósito de condensados, diseñado para una capacidad de almacenamiento predeterminada denominado Pozo de condensados (Hotwell). El pozo de condensados puede ser de la misma longitud y anchura que el resto de las partes del condensador, en cuyo caso, se llama Pozo de condensados integral (caso más común en los condensadores de grandes dimensiones). Para los condensadores más pequeños, el pozo de condensador suele ir adosado a la parte inferior del cuerpo y en ocasiones puede denominarse como Pozo de condensados Independiente.

El condensado se extrae del pozo por medio de una o varias bombas, a través del sumidero en el que se encuentran las conexiones de salida del condensado.

El condensador se une al cuerpo de turbina de baja presión mediante el cuello superior / junta de expansión, siendo en este proyecto, circular. A continuación de la junta de expansión se encuentra el cuello inferior del condensador, en el cuello inferior se encuentra la mayor parte de las conexiones del condensador, principalmente todas aquellas en por las que se introduce al condensador vapor de alta entalpía, como puede

ser el vapor proveniente de los by-passes, en el cuello superior también se encuentra posicionada la cortina de agua (“Fog Spray”).

A continuación del cuello inferior del condensador, se sitúa el cuerpo del condensador, que es dónde se sitúan los tubos, la pantalla de impacto y las placas soporte. El cuerpo es la parte más importante del condensador ya que es dónde se produce la condensación del vapor, durante este proceso de condensación del vapor, se producen gases incondensables, por lo que a lo largo del haz tubular se incorpora una sección para enfriamiento interno de aire, colocando baffles alrededor de un conjunto de tubos, con el fin de enfriar mejor este aire / gases. Conectada al final estos baffles, siempre en la zona más fría del haz tubular (zona de entrada del agua de circulación), se coloca un conducto/tubería de salida de aire, hasta la conexión de salida del aire y de gases incondensables, con el fin de mantener el vacío en el condensador.

Para evitar que se transmitan fuerzas y momentos perjudiciales de la turbina al condensador y de este a la turbina, debidos a desplazamientos laterales como dilataciones por efecto de la temperatura, se sitúa, entre la turbina y el cuello inferior del condensador, la junta de expansión, que para condensadores axiales es circular, de doble compensador y multifuelle, ya que tiene que absorber las dilataciones así como los desplazamientos laterales existentes en este tipo de turbinas horizontales. Cabe destacar que las turbinas con descarga de vapor horizontal transmiten desplazamientos laterales cosa que en las turbinas con descarga vertical no se produce.

El condensador se fija al suelo mediante 5 apoyos, 4 flotantes, situados en los extremos del condensador y uno fijo, situado en el centro del condensador.

2.2 ESPECIFICACIÓN DEL CONDENSADOR

Cuando se construye una planta, el propietario o la ingeniería a la que se designe su construcción debe proporcionar las especificaciones técnicas necesarias a los fabricantes de equipos. En esta especificación vienen detalladas todas las características del equipo, las condiciones y exigencias de diseño, operación y mantenimiento que el equipo en cuestión debe cumplir (en nuestro caso del condensador de vapor).

2.1.1 Alcance de la especificación y modos de operación

El objetivo y alcance de la especificación consta del diseño, materiales, fabricación y suministro de un condensador de vapor de tipo superficie con tubos de titanio situado axialmente a la turbina de baja presión, para una planta de ciclo combinado situada en España.

Este condensador principal será suministrado completo, con todos los sistemas auxiliares y los elementos requeridos para operar de forma adecuada.

El condensador y los sistemas auxiliares cubiertos por la especificación prestarán servicio en una planta de generación eléctrica de Ciclo Combinado compuesto por 2 turbinas de gas de 2 x 71,5 MW (HRSG) y una turbina de vapor de 77 MW.

El vapor de turbina es descargado horizontalmente al interior del condensador. El sistema de refrigeración consiste en un circuito abierto, en el cual el fluido de refrigeración es el agua de mar. El circuito de refrigeración en el condensador será de un paso, por lo que habrá una caja de entrada y otra caja de salida por haz tubular, no existiendo cajas de retorno, que son situadas cuando el condensador posee dos pasos del agua de circulación.

Durante la operación normal, el vapor sobrecalentado pasa desde la HRSG al cuerpo de alta presión de la turbina de vapor y desde allí al cuerpo de baja, que descarga en el condensador. Además del vapor de turbina el condensador recibe otros aportes de calor adicional, provenientes de vapor de tuberías de sellos, drenajes, agua de aporte ("Make-Up").

Durante la puesta en marcha, paradas y disparos de turbina, la válvula de admisión de vapor de turbina estará parcial o totalmente cerrada, en estos casos de operación, el vapor proveniente de la caldera de recuperación será bypassado directamente al condensador, siendo los sistemas de by-pass los siguientes:

- 2 Tuberías de by-pass de vapor de alta presión, entrando al condensador, provenientes de las calderas de recuperación de calor, siendo una tubería por cada HRSG.
- 2 Tuberías de by-pass de vapor de baja presión, entrando al condensador, provenientes de las calderas de recuperación de calor, siendo una tubería por cada HRSG.

La unidad se diseñará para permitir por lo menos un disparo diario en la planta e incluso para operar de forma continua a máxima carga. La unidad permitirá rápidos cambios en la carga y será diseñado teniendo en cuenta frecuentes disparos y arranques durante la noche y los fines de semana.

El condensador principal es enfriado por el sistema de refrigeración con agua de mar, el agua de circulación es bombeada del depósito de la torre de refrigeración mediante dos bombas cada una de ellas con una capacidad del 50 %. Además dispondrá de un sistema de filtros de acero inoxidable para el agua de circulación y un sistema continuo de limpieza de bolas.

El sistema de eliminación de aire del condensador evacua los gases no condensables de lado cuerpo del condensador. El sistema consiste en dos bombas de vacío, los gases no condensables salen del condensador mediante una bomba en condiciones normales de operación y en los arranques se disponen dos bombas operando en paralelo.

Este condensador de vapor debe ser diseñado para las siguientes condiciones anormales de operación:

- Fallo producido en una bomba de circulación, en esta situación la carga se mantiene constante y la presión en el condensador aumentará.
- Fallo en la turbina de vapor, en esta situación las válvulas de admisión en la turbina se cierran y el vapor producido por el generador de vapor es enviado al condensador mediante las conexiones de by-pass de alta y baja presión.
- Operación con un solo haz, previamente drenado, secado y aislado. Bajo estas condiciones, la turbina trabajará en operación y el vacío debe ser mantenido en el condensador (este modo de operación debe ser considerado para el análisis

de estructuras y vibraciones, pero no será un modo de operación continuo en la planta).

Esta planta de Ciclo Combinado se espera que opere al 50% -100% de carga, con al menos 230 arranques/año. El condensador y sus componentes auxiliares deben ser diseñados y fabricados para una vida de 25 años y una vida continua en operación de 200 000 horas (8 000 h/año). Además el diseño del condensador se debe diseñar para un número de 6 000 aperturas de las válvulas de by-pass, durante la vida del condensador y 5 000 horas en operación de máximo continuo en by-pass.

En ningún caso el sobreespesor de corrosión admisible será inferior a 3 mm para superficies expuestas como hierro fundido, acero al carbono o aleado, o inferior a 0,1 mm para superficies de titanio y acero inoxidable.

El contenido de oxígeno del agua del condensado no debe exceder los 7 ppb en condiciones de operación normal y con unas condiciones make-up en operación continua. Para conseguir el menor contenido en oxígeno en el agua de condensado, el condensador se debe suministrar con una tubería de vapor de calentamiento (“Sparger Steam”) procedente de la caldera auxiliar. Este vapor se suministra a 10 barg y 200 °C.

El condensador se debe diseñar con un 2% de tubos extras, de la cantidad total teórica necesaria de tubos, obtenida en el cálculo del número de tubos necesario para transferir todo el calor de vapor de turbina. Este margen se considerará de seguridad para obtener el vacío garantizado en el diseño.

La pérdida de carga máxima del agua de circulación, con un 85% de factor de limpieza y el 5% de tubos taponados, a través de los tubos, no debe superar los 4 m.c.a.

2.1.2 Características del emplazamiento

La planta de ciclo combinado está situada en España, en un entorno cerca del mar donde se tomará el agua para el sistema de refrigeración del condensador (tabla 2-1 “Condiciones ambientales de la central”). Además, para el diseño del condensador se debe tener en cuenta una aceleración sísmica de 0,06 g de acuerdo a los requerimientos

del Código Sísmico Español NCSE-94 y las velocidades del viento en el emplazamiento.

Tabla 2-1: Condiciones ambientales de la central

CONDICIONES AMBIENTALES	DATO
Altura sobre el nivel del mar (m)	6,7
Presión barométrica (bar)	1,013
Temperatura ambiente (°C)	
Máxima absoluta	40
Media anual	19,6
Mínima absoluta	5
Humedad relativa (%)	
Máxima absoluta	90
Media anual	67,1
Mínima absoluta	60
Velocidad máxima del viento (m/s)	36,7

El condensador se instalará dentro del edificio de turbina (ver tabla 2-2 “Parámetros ambientales del interior del edificio de la turbina”), el cual tendrá los siguientes parámetros ambientales.

Tabla 2-2: Parámetros ambientales del interior del edificio de la turbina

CONDICIONES AMBIENTALES	DATO
Temperatura ambiente dentro del edificio de turbina (°C)	
Máxima absoluta	40
Mínima absoluta	12
Humedad relativa (%)	No controlada

2.1.3 Requerimientos del diseño

El condensador debe diseñarse de acuerdo con los requerimientos del Heat Exchange Institute, última edición (HEI).

El condensador será de única presión, simple paso de agua de circulación a través de los tubos y un paso de vapor por cada haz tubular, dos placas tubulares por haz tubular y equipado con sistemas de desaireamiento y recalentamiento.

El condensador debe ser diseñado para mantener una presión de operación por debajo de 0,169 bar, mientras la turbina esté en operación en plena carga y con una sola bomba de circulación en funcionamiento, debe considerarse un 60 % del flujo de agua de circulación.

El condensador debe ser diseñado para operar con un solo haz, durante esta operación se considerará un caudal del 60 % respecto del total en circulación.

El agua de aportación en el ciclo de vapor (make-up), no tiene porque ser desaireada antes de entrar al condensador. El sistema de desaireamiento debe ser dispuesto bajo los haces tubulares, la función del sistema debe ser la desaireación de todo el flujo de condensado, y no está permitido realizarla parcialmente.

2.1.4 Datos suministrados por el cliente

El condensador se diseñará y funcionará adecuadamente bajo las siguientes condiciones (ver tabla 2-3 “Datos suministrados por el cliente para el diseño del condensador”):

3 FUNDAMENTOS DEL CONDENSADOR

El diseño del condensador de vapor de este proyecto, se ha realizado siguiendo las consideraciones y cálculos de la norma americana del Heat Exchange Institute (HEI) para condensadores de superficie, debido a esto; los cálculos, tablas no se encuentran en el Sistema Internacional.

Sin embargo, al final de cada cálculo se realizará su conversión a unidades del Sistema Internacional para que sea más fácil su comprensión.

3.1 CONSIDERACIONES TEÓRICAS

La misión fundamental del condensador de superficie es condensar el vapor extraído de la turbina de vapor, así como proporcionar una cámara de almacenamiento para el agua condensada (condensado). La segunda función del condensador de superficie es desgasificar y recalentar el condensado que cae de los tubos y desgasificar y recalentar o enfriar todas las purgas y drenajes, hasta la temperatura de saturación del cuerpo del condensador.

El cuerpo del condensador de superficie puede también funcionar intermitentemente como un condensador receptor de grandes cantidades de vapor en el caso de by-pass de turbina, o bien procedente del generador de vapor durante la puesta en marcha, o si hay vertidos de vapor en caso de emergencia durante la operación normal.

Termodinámicamente, el cometido principal del condensador de superficie es extraer el calor latente del vapor proveniente de la turbina, el cual se transmite al agua de circulación (refrigeración) que circula por los tubos.

Físicamente el condensador de superficie es una cámara consistente en un gran cuerpo de acero, atravesado por tubos paralelos, a través de los cuales pasa el agua de circulación, que condensa el vapor que fluye por el exterior de los tubos. Los extremos de los tubos se introducen y se sellan en el interior de agujeros taladrados en dos placas, una a cada lado del condensador, estas placas se denominan placas tubulares (espejos) y

van embridadas o soldadas al cuerpo del condensador (en el presente proyecto van soldadas).

Se colocan placas soporte, con una separación determinada, para evitar que los tubos se muevan y vibren. Estos soportes son chapas con agujeros para los tubos y además sirven como arriostramientos (rigidizadores) del cuerpo, en condiciones de vacío o presión.

Para proporcionar agua de refrigeración a los tubos y posteriormente extraerla, se construyen cámaras separadas, denominadas cajas de agua, que se embridan a las placas tubulares. Unas tuberías de gran tamaño se conectan a estas cajas de agua para hacerles llegar el agua de refrigeración proveniente de las bombas de agua de circulación.

La parte más baja del cuerpo forma el depósito, diseñado para una capacidad de almacenamiento predeterminada y se denomina Pozo Caliente (Hotwell), el pozo caliente suele ir a lo largo de toda la longitud y anchura del condensador, en cuyo caso, se llama Pozo Caliente Integral (tal es el caso principalmente de los condensadores grandes.) Para los condensadores más pequeños, el pozo caliente suele ir adosado a la parte inferior del cuerpo y en ocasiones puede denominarse como Pozo Caliente Independiente.

El condensado se extrae del pozo caliente por medio de una o varias bombas de condensado, (el presente proyecto mediante dos).

El conducto entre la conexión de salida de la turbina y el cuerpo del condensador se llama Cuello Inferior o de Transición.

Puesto que se acumulan aire y gases incondensables en el cuerpo del condensador, se incorpora una sección para enfriamiento interno de aire, colocando baffles en una porción de los tubos, con el fin de enfriar mejor el conjunto de gases. Se coloca una

tubería de salida de aire desde la mencionada sección, hasta una conexión de salida del aire y los gases incondensables, con el fin de mantener el vacío en el condensador.

Para evitar que se transmitan fuerzas y momentos perjudiciales a la turbina, debido a dilataciones verticales y horizontales por defecto de la temperatura, y desplazamientos laterales de la turbina, se toman medidas para reducir o eliminar estas fuerzas y momentos. El condensador se fija y se atornilla a las fundaciones y se coloca una Junta de Expansión de acero inoxidable en el cuello del condensador, entre la conexión de salida de la turbina y la conexión del condensador.

Debido a la diferente dilatación térmica de los tubos y del cuerpo, se coloca una junta de expansión de tipo fuelle entre el cuerpo del condensador y la caja de agua de entrada o la de retorno (en el presente condensador -de 2 pasos- en la de retorno).

Se proporciona al condensador los medios para que la unidad pueda recuperar el vapor de by-pass de turbina durante el arranque, la parada, caso de baja carga o disparos de emergencia. El dispositivo del interior del condensador se diseña para provocar el cambio de las condiciones termodinámicas del vapor a su llegada al condensador, hasta un nivel compatible con las condiciones de vacío reinantes en el condensador y además, para permitir la expansión del vapor, sin causar ningún daño térmico (físico) ni al condensador, ni al cuerpo de baja presión de la turbina.

Las condiciones del vapor a la llegada al condensador (a la pared), no deben superar los 17,25 bar (250 psig), ni los 2 850 kJ/kg (1 200 Btu/lb), lo que se consigue reduciendo la presión y atemperando el vapor antes de su llegada al condensador. Estos límites termodinámicos evitan grandes saltos (aumentos) de temperatura, que pueden dañar la turbina o el condensador.

El vapor de by-pass penetra al condensador a través del cuello y se conduce a través de una tubería a un punto donde se reduce su presión, situado sobre los haces tubulares, para distribuir con eficacia el flujo de vapor de alta energía. El dispositivo para reducir

la presión se diseña para realizarlo en una etapa, antes de permitir al vapor expandirse en el cuerpo del condensador.

3.1.1 Componentes del condensador de única presión

Un condensador de superficie comprende esencialmente según la figura 3-1:

- Un cuerpo de acero.
- Una placa tubular de acero ó acero + titanio en cada una de las extremidades del cuerpo.
- Un haz de tubos de titanio o de una aleación apropiada.
- Una caja de agua de acero a la entrada y a la salida del agua de circulación.
- Un conducto de acero uniando el cuerpo del condensador con la brida de escape de turbina.
- Un pozo situado en la parte inferior del cuerpo del condensador que recoge el agua condensada.

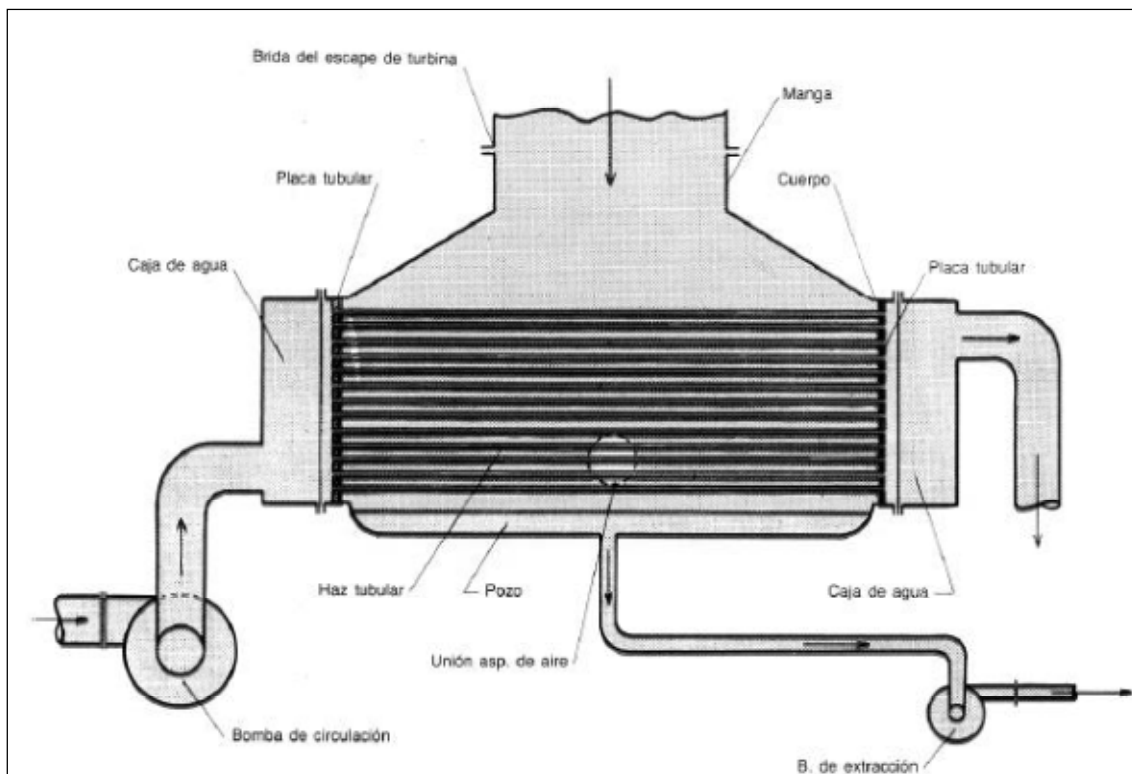


Figura 3-1: Esquema Condensador

El vapor de escape de la turbina se condensa al entrar en contacto con la parte exterior de los tubos del haz tubular, recorridos interiormente por el agua de circulación.

El agua condensada recogida en el pozo es aspirada por la bomba de extracción, este agua es utilizada de nuevo para la alimentación de la caldera, el agua de circulación tomada del río o del mar debe suministrar el caudal suficiente para la condensación del vapor. Una bomba de circulación aspira el agua y la impulsa al interior de los tubos del haz tubular pasando por la caja de agua de entrada.

La temperatura del agua de circulación va aumentando conforme va atravesando el haz tubular hasta su salida a la caja de agua.

El aire que se introduce en el condensador es aspirado por medio de eyectores o bombas de vacío, la tubería de aspiración de estos aparatos está unida a un tubo situado hacia la parte baja del condensador.

3.1.2 Presión en el condensador

Como en los condensadores por mezcla, la presión total P_t en el condensador es igual a la suma de la presión parcial P_v del vapor y de la presión parcial del aire P_a :

$$P_t = P_v + P_a$$

El vapor con el aire que contiene pasa por el haz tubular a una velocidad poco elevada, la pérdida de carga es pues pequeña, se puede considerar que la presión total P_t es sensiblemente la misma en todos los puntos del condensador:

$$P_t = \text{constante}$$

La temperatura no es uniforme dentro del condensador por el hecho de que la temperatura del agua de circulación varía durante su recorrido por el interior de los tubos del haz tubular.

El vapor tiene su presión máxima P_{vM} en el punto del condensador donde la temperatura t_M es máxima, y la presión mínima P_{vm} en el punto donde la temperatura t_m es mínima, como la presión total P_t varía poco de un punto a otro del condensador, la presión del aire es:

- Máxima e igual a Pa_M en el punto más frío.
- Mínima e igual a Pa_m en el punto más caliente.

Tenemos pues:

$$P_t = P_{vM} + Pa_m$$

$$P_t = P_{vm} + Pa_M$$

Si la presión del aire Pa_m es despreciable en el punto más caliente tendremos:

$$P_t = P_{vM}$$

La presión P_{vM} es igual a la presión del vapor saturado para la temperatura máxima t_M .

3.1.3 Transmisión de calor en el condensador

El intercambio de calor entre el vapor de escape de la turbina y el agua de refrigeración mejora cuando:

- Aumenta la superficie de intercambio. La superficie del condensador corresponde en general a un caudal de vapor de 30 kg a 50 kg de vapor condensado por hora, a la carga máxima de la turbina y por metro cuadrado de superficie tubular.
- La velocidad del agua de circulación es más elevada. Se está obligado a mantenerse dentro de ciertos límites, la velocidad está comprendida entre 1,5 m/s y 2,5 m/s. Si la velocidad es inferior a 1 m/s, los materiales en suspensión

del agua de circulación se depositan en los tubos, si la velocidad es superior a 3 m/s, pueden producirse erosiones en el interior de los tubos.

- La temperatura del agua de circulación es más baja.
- Los tubos del condensador están más limpios. El intercambio de calor depende igualmente del diámetro, del espesor y de la calidad del metal de los tubos.

3.1.4 Caudal de agua de circulación

La temperatura del agua de circulación a la entrada del condensador nos viene dada por la temperatura del agua del río o del mar, no tenemos pues elección sobre esta temperatura.

El valor típico del calentamiento del agua de circulación en el condensador está en un rango de 7 °C a 11 °C para la carga máxima de turbina. El calentamiento del agua de circulación para una carga dada, está ligado al caudal de agua de circulación.

Consideremos un grupo de 125 MW, supongamos que está funcionando a plena carga y que:

- La entalpía del vapor a la entrada del condensador es igual a 2 345 kJ/kg.
- La entalpía del agua condensada en el condensador es de 109 kJ/kg.
- El aumento de la temperatura de agua de circulación es de 7,5 °C.
- El caudal de vapor a condensar es de 250 t/h.

La cantidad de calor Q_v cedida por el vapor al agua de circulación durante una hora es igual a:

$$Q_v = (2\,345 \text{ kJ/kg} - 109 \text{ kJ/kg}) \cdot 250\,000 \text{ kg/h} \cdot 1 \text{ h} = 2\,236 \cdot 250\,000 \text{ kJ}$$

$$Q_v = 559\,000\,000 \text{ kJ}$$

La cantidad de calor cedida por el vapor es igual a la cantidad de calor Q_e correspondiente a un calentamiento igual a $7,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ de la masa M del agua de circulación, expresada en kilogramos, que ha circulado por el condensador durante esta misma hora. Tenemos:

$$Q_e = M \cdot 7,5 \cdot 4,1868 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_v = Q_e \text{ implica que, } 559\,000\,000 \text{ kJ} = M \cdot 7,5 \cdot 4,1868 \text{ kJ/kg}$$

Finalmente:

$$M = \frac{559000000}{7,5 \cdot 4,1868} = 17\,800\,000 \text{ kg/h} = 17\,800 \text{ t/h}$$

3.1.5 Curvas de vacío de un condensador

El funcionamiento de un condensador está caracterizado por sus curvas de vacío, (ver Anexo A). Estas curvas dan, para una temperatura de agua de circulación dada a la entrada del condensador, la presión del vapor de escape de la turbina en función del caudal de vapor a condensar.

En el Anexo A, se muestran las curvas de vacío del condensador, con los siguientes factores:

- 100% de superficie; 100% de agua de circulación; 85% de factor de limpieza y 2 bancos en operación.
- 50% de superficie; 60% de agua de circulación; 85% de factor de limpieza y 1 banco en operación.

Cuando el condensador se ensucia, las curvas se separan de las correspondientes a un condensador limpio, tanto más cuanto mayor es el caudal de vapor.

Hay que tener en cuenta que el condensador se diseña para un condición garantizada, ya que el condensador se trata de un equipo estático, por lo que, con las curvas de vacío, se

puede conocer el comportamiento del condensador en distintas condiciones de limpieza, caudal de circulación y superficie efectiva de transferencia de calor.

3.1.6 Control de marcha de un condensador

Para controlar la buena marcha de un condensador es necesario conocer:

- El vacío o la presión total P_t en el condensador.
- La temperatura t_v del vapor al escape de la turbina.
- La temperatura t_c del agua condensada.
- Las temperaturas t_e del agua de circulación a la entrada del condensador y t_s a la salida.

- **La presión total**

Se puede medir de dos formas:

- Por comparación de una columna barométrica unida al condensador sometida a la presión atmosférica P_a .
- De una manera absoluta con un tubo en V que contiene mercurio en el que uno de los brazos está cerrado, su cámara debe estar perfectamente al vacío.

- **Calentamiento del agua de circulación en el condensador**

El calentamiento del agua de circulación en el condensador es igual a: $t_s - t_e$.

Este calentamiento es proporcional al caudal del vapor e inversamente al caudal de agua de circulación. Para un caudal de vapor dado, si el caudal de agua de circulación disminuye, la diferencia entre t_s y t_e aumenta.

El caudal de agua de circulación puede disminuir por dos razones:

- Aumento de la pérdida de carga en el circuito de agua de circulación provocado por una limpieza defectuosa de las rejillas filtrantes de la toma de agua o porque la placa tubular de entrada al condensador esté parcialmente tapada.
- Mal funcionamiento de la bomba de circulación.

El aumento de la temperatura del agua de circulación como acabamos de señalar suele estar comprendido entre 7 °C y 11 °C.

- **Diferencia entre la temperatura de vapor y la temperatura del agua condensada**

Esta diferencia entre t_v y t_c es significativa de entradas de aire, es normalmente baja, inferior a 1 °C y puede aumentar si:

- Las entradas de aire llegan a ser muy importantes con relación a la capacidad de extracción de los eyectores o de las bombas de vacío.
- El funcionamiento de los eyectores o de las bombas de vacío es defectuoso.

Un valor normal de la diferencia entre t_v y t_c está comprendido entre 0 °C y 1 °C.

- **Diferencia entre la temperatura del vapor y la temperatura del agua de circulación a la salida del condensador**

Supongamos el condensador limpio y sin entradas de aire. El caudal de vapor y el caudal de agua de circulación están bien definidos, la diferencia entre las temperaturas de salida y de entrada de agua al condensador es constante:

$$t_s - t_e = \text{constante}$$

La diferencia de temperatura entre el vapor y del agua de circulación a la entrada o a la salida del condensador no varía:

$$t_v - t_s = \text{constante}$$

Si el condensador se ensucia, los intercambios de calor entre el vapor del agua de circulación se efectuarán en peores condiciones, para ceder la misma cantidad de calor al agua de circulación, la temperatura del vapor debe ser más elevada, la diferencia entre t_v y t_s aumenta, entonces el condensador debe limpiarse.

Un valor normal de esta diferencia es:

$$t_v - t_s = 3\text{ }^{\circ}\text{C a } 10\text{ }^{\circ}\text{C}$$

- **Entrada de agua bruta en la parte bajo vacío del condensador**

Cuando se produce la perforación de un tubo del haz tubular, el agua bruta que circula por el interior de este tubo pasa al interior del condensador mezclándose con el agua condensada.

El agua condensada que se utiliza para la alimentación de los generadores de vapor queda de esta manera contaminada por las sales contenidas en el agua bruta. Estas sales formarán incrustaciones peligrosas en el generador de vapor si esta entrada de agua bruta no ha sido suprimida rápidamente.

Pueden detectarse entradas de agua bruta de dos maneras:

- Mediante análisis permanente del agua de extracción. Este análisis se hace por medio de un conductivímetro, este aparato mide las variaciones de conductividad eléctrica del agua en función de su contenido en sales, naturalmente la conductividad aumenta al aumentar el contenido en sales.

Por una tendencia al aumento del almacenamiento del agua de aporte consecuencia de la introducción de agua bruta en el circuito.

Tabla 2-3: Datos suministrados por el cliente para el diseño del condensador

Circuito Vapor	Unid. S.I.	Condición de Diseño
1. Entrada Vapor de turbina		
Flujo	kg/h	237 400
Presión	bara	0,0627
Temperatura	°C	36,99
Entalpía	kJ/kg	2 224,80
Calidad vapor		0,86
Calor total	kJ/h	528 167 520
2. Entrada de Vapor de Conexiones		
Flujo	kg/h	5 600
Entalpía	KJ/kg	737,55
Calor Total	kJ/h	4 130 262
3. Condensado		
Flujo	kg/h	243 000
Presión	bar	0,0627
Temperatura	°C	36,99
Entalpía	kJ/kg	154,87
Calor total	kJ/h	37 632 745
Circuito Agua de Circulación	Unid. S.I.	Condición de Diseño
4. Características Agua Circulación		
Densidad	Kg/m ³	1 028
Calor Específico	kJ/kg/K	3,99
Flujo Volumétrico	m ³ /h	21 970
Flujo Másico	kg/h	22 585 160
Temperatura de Entrada	° C	21,00
Temperatura de Salida	° C	26,52
Presión	bara	2,70
Velocidad	m/s	2,44
Factor de Limpieza	Unidades	Condición de Diseño
HEI Factor de Limpieza	%	85
Tubos Taponados	%	5
Margen adicional de tubos	%	2

Fuente: FOSTER WHEELER

4 SELECCIÓN DE MATERIALES

4.1 MATERIAL Y CALIDAD DE LOS TUBOS

Los materiales con los que tradicionalmente se han fabricado los tubos de los condensadores han sido acero al carbono, aleaciones de cobre-latón y acero inoxidable. Actualmente el material que mayoritariamente se utiliza para su uso con agua de mar como fluido refrigerante, tanto para condensadores de nueva fabricación como para reentubados de condensadores en mal estado, a pesar del estado actual del mercado (escasez de materia prima, precios y plazo de entregas), es el titanio SB-338 Gr. 2, sus propiedades están muy por encima de los materiales utilizados no hace mucho tiempo atrás, además de su menor densidad respecto al acero, su alta resistencia a la corrosión. Por otra parte, también se están investigando con nuevos materiales como superaleaciones o aceros superferríticos (ver tabla 4-2).

Los objetivos más importantes que se desean obtener, en la elección del tubo de un condensador, son los siguientes:

- Mantener las características técnicas (físicas y químicas) durante el periodo de vida del condensador.
- Mantener la superficie efectiva de transferencia de calor
- Minimizar costes, retrasando lo máximo posible la realización de un reentubado.

La elección del material del tubo para el condensador es el aspecto más importante para el diseño del mismo, ya que dependiendo de la elección del material de tubo, tendremos una conductividad térmica distinta dependiendo del material seleccionado, siendo esta un parámetro importante para la obtención del coeficiente de transferencia de calor (U).

Para la correcta elección del material del tubo, lo más importante es conocer la composición del agua de circulación, siendo los factores principal que determinan la elección del material, el nivel de cloruros del agua de circulación (calidad del agua) y la velocidad de la misma, ya que dependiendo de la velocidad del agua de circulación en

interior del tubo, la probabilidad a la corrosión aumenta si la hace la velocidad. (Ver figura 4-1).

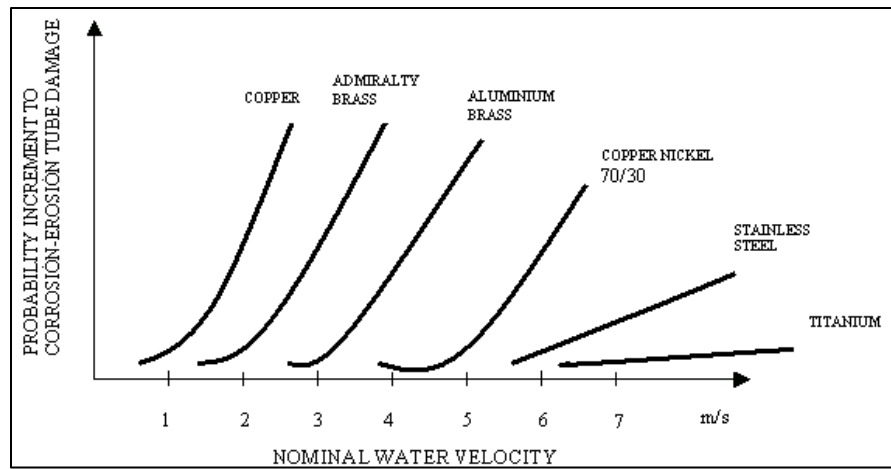


Figura 4-1: Probabilidad erosión-corrosión en los tubos

Por ello el material elegido para el condensador, tiene una resistencia alta a la corrosión para un determinado nivel de cloruros sin que se produzcan daños en la estructura del tubo. En la figura 4.1 se muestra, cuál es el material a utilizar dependiendo del nivel de cloruros, medidos en ppm.

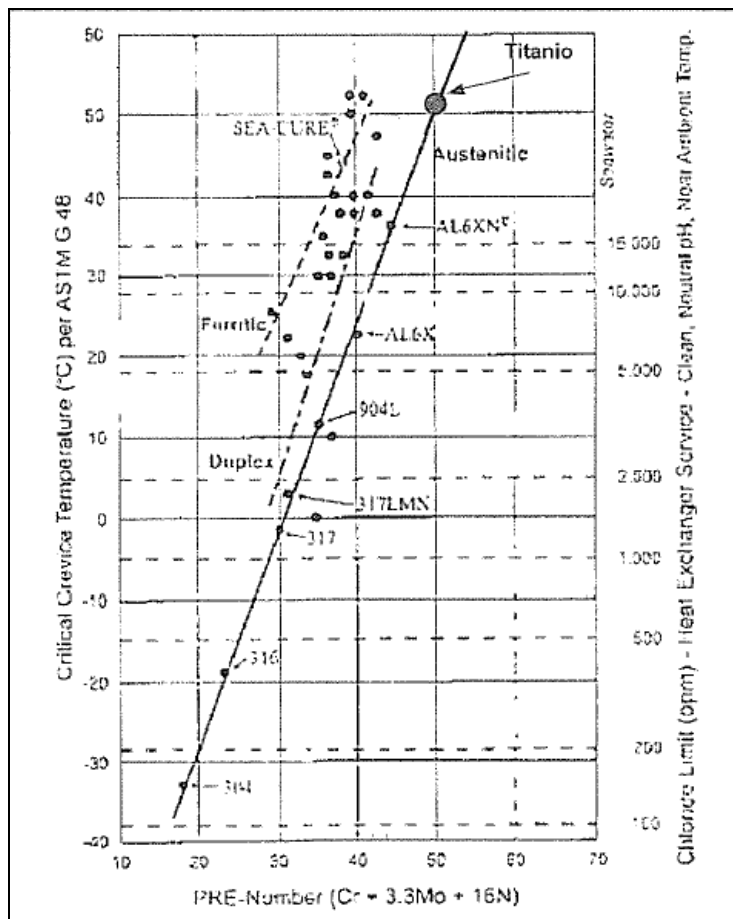


Figura 4-2: Resistencia a los cloruros de los tubos

En la tabla 4-1 se muestra la composición del agua de circulación, utilizada para este condensador:

Tabla 4-1: Composición agua de circulación

Origen	Agua de Mar
Calcio	448,02 ppm
Magnesio	1437,14 ppm
Cloruros	21 212 ppm
Sulfatos	2738,88 ppm
Silicio soluble	12,40 ppm
Dureza (Ca y Mg)	1885,16 ppm
pH	8,20

Fuente: Foster Wheeler

Por lo que resumiendo los parámetros más importantes que determinan el material del tubo del condensador son los siguientes:

- Calidad y velocidad del agua de circulación.
- La conductividad térmica del material seleccionado.
- Módulo Elástico.

- Precio y plazo de entrega

A pesar de la elección más óptima del material de los tubos, es posible que se produzcan los siguientes fallos en los tubos:

- Pinchazos por el efecto erosión-corrosión provocadas por la velocidad en los tubos y las condiciones químicas agresivas del agua de circulación. Cuando se produce un fallo de este tipo se deben taponar los tubos para evitar una mínima entrada de agua de refrigeración en el lado vapor que pueda producir daños irreparables en caldera. Por otra parte, cuantos mayor es el número de tubos que se taponan menor es la sección de paso del circuito de agua de refrigeración y por tanto mayor la velocidad de paso por tubo, erosionando con mayor rapidez el resto del haz tubular.
- Para evitar que el haz tubular sea dañado, se sitúa una pantalla de impacto compuesta por redondos macizos de acero al carbono A36, esta pantalla protege de la caída de materiales y otros tipos de desprendimientos que pudiesen caer en el haz tubular durante el montaje en planta y protege a los tubos del efecto “*water hammer*” (Normalmente el vapor de turbina no suele ser vapor saturado, sino que contendrá una pequeña cantidad de agua, nociva a alta velocidad para los tubos del haz tubular).
- Los tubos situados en la parte superior del haz tubular se fabricarán con un mayor espesor para evitar rápidas erosiones debido al efecto “*water-hammer*”.
- Fallo debido a la unión entre tubo y placa tubular, esta zona es especialmente delicada, ya que es la barrera física entre lado vapor y lado agua. La unión será expandida y soldada, con soldadura de tipo TIG (“*Tungsten Inert Gas*”) y sin aporte de material. La unión puede ser solamente expandida pero pueden aparecer problemas de fugas y de corrosión en la placa tubular, además de proporcionar una menor resistencia a tracción.

Tabla 4-2: Materiales de los tubos del condensador

Material Category	Material	Typical ASTM Specification Alloy Designation	Physical Properties See Notes Below			
			ρ	K	α (e)	E @ 70°F
COPPER BRASS ALLOYS	Admiralty	B111 B543 UNS C44300	0,308	(a 1) 64 at 68°F	$11,2 \times 10^{-6}$	$16,0 \times 10^6$
	Admiralty	B111 B543 UNS C44400	0,308	(a 1) 64 at 68°F	$11,2 \times 10^{-6}$	$16,0 \times 10^6$
	Admiralty	B111 B543 UNS C44500	0,308	(a 1) 64 at 68°F	$11,2 \times 10^{-6}$	$16,0 \times 10^6$
	Alum. Brass	B111 B543 UNS C68700	0,301	(a 1) 58 at 68°F	$10,3 \times 10^{-6}$	$16,0 \times 10^6$
	Alum. Brass	B111 B543 UNS C60800	(a 1) 0,295	(a 1) 46 at 68°F	$9,0 \times 10^{-6}$	$17,5 \times 10^6$
	Copper Nickel 70-30	B111 B543 UNS C71500	0,323	(a 1) 17 at 68°F	$9,1 \times 10^{-6}$	$22,0 \times 10^6$
	Copper Nickel 90-10	B111 B543 UNS C70600	0,323	(a 1) 26 at 68°F	$9,5 \times 10^{-6}$	$18,0 \times 10^6$
	Arsenical Copper	B111 B543 UNS C14200	(a 1) 0,323	(a 1) 112 at 68°F	$9,8 \times 10^{-6}$	$17,0 \times 10^6$
	Copper Iron 194	B543 UNS C19400	(a 1) 0,317	(a 1) 150 at 68°F	$9,0 \times 10^{-6}$	$17,5 \times 10^6$
STAINLESS STEEL	Stainless Steel	A249 A213 A269 UNS S30400	0,29	8,6 at 70°F	$9,45 \times 10^{-6}$	$28,3 \times 10^6$
	Stainless Steel	A249 A213 A269 UNS S31600	0,29	8,6 at 70°F	$9,45 \times 10^{-6}$	$28,3 \times 10^6$
	Stainless Steel	A268 UNS S43035	(a 4) 0,28	(a 2) 12,3 at 68°F	(a 4) $5,6 \times 10^{-6}$	(a 4) $29,0 \times 10^6$
	Stainless Steel	B676 UNS N08367	(a 5) 0,29	(a 2) 7,9 at 68°F	(a 5) $8,5 \times 10^{-6}$	(a 5) $27,0 \times 10^6$
	Stainless Steel	A268 UNS S44735	(a 6) 0,28	(a 2) 9,8 at 68°F	(a 6) $5,2 \times 10^{-6}$	(a 6) $29,0 \times 10^6$
	Stainless Steel	A268 UNS S44660	(a 7) 0,28	(a 2) 9,8 at 70°F	(a 7) $5,4 \times 10^{-6}$	(a 7) $31,0 \times 10^6$
TITANIUM	Titanium	B338 Grades 1 & 2	0,163	12,5 at 70°F	$4,9 \times 10^{-6}$	$14,9 \times 10^6$
CARBON STEEL	Carbon Steel	A179 A214	(a 3) 0,283	(a 3) 27,0 at 70°F	$7,34 \times 10^{-6}$	$29,5 \times 10^6$

Fuente: HEI 9th Edition, 2000

Donde:

- ρ : Densidad del material en lb/ft^3 .
- k: Conductividad Térmica en $\text{BTU} / (\text{hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F})$.
- α : Coeficiente de dilatación térmica.
- E: Módulo Elástico en psi

4.2 MATERIAL PLACA TUBULAR

Los materiales de mayor uso común para la fabricación de las placas tubulares son el acero al carbono y el titanio, siempre y cuando los tubos son de titanio. En el caso, que los tubos sean de acero inoxidable se selecciona una placa tubular maciza de acero inoxidable, siendo habitualmente de material SA-240 (Ver Tabla 4-3).

Cuando los tubos son de titanio existen dos opciones de elección de material de placa tubular:

- Maciza de Titanio.
- Acero al Carbono plaqueado con titanio.

En lugar de utilizar placas macizas de titanio, se usa acero al carbono plaqueado, por las siguientes razones:

- Soldar la parte del acero al carbono con el cuerpo del condensador, siendo innecesaria la colocación de una brida, en la que exista mayor probabilidad de entradas de aire en el interior del condensador y un mayor mantenimiento.
- El acero al carbono da una mayor resistencia mecánica a la placa tubular.
- Elevado coste y plazo de entrega del titanio.
- La diferencia de potencial galvánico del titanio con el acero al carbono de las cajas de agua, que producirá una rápida corrosión entre estos materiales en un medio acuoso como el agua de mar.

Tabla 4-3: Materiales utilizados en las placas tubulares y normas que deben cumplir

COMPONENTES	MATERIALES	ESPECIFICACIÓN
BOLTING	Carbon Steel	ASTM A 193
TUBESHEETS	Muntz Metal	ASTM B 171
	Aluminum Bronze	ASTM B 171
	Naval Brass	ASTM B 171
	70/30 Copper Nickel	ASTM B 171
	90/10 Copper Nickel	ASTM B 171
	Silicon Bronze	ASTM B 96
	Titanium	ASTM B 265
	Stainless Steel	ASTM A 240
	Carbon Steel	ASTM A 516

		ASTM B 285
--	--	------------

Fuente: HEI 9th Edition, 2000

La unión del tubo a la placa tubular debe ser expandida y soldada, debido al plaquero con titanio se posibilita la soldadura en el lado de la caja de agua y debido a que, si el tubo sólo es expandido en el interior de la placa de tubular, existe el peligro de fugas del agua de circulación al exterior de los tubos existiendo problemas de condensación y aumento de la presión del condensador, por lo tanto estará en contacto con el agua de refrigeración.

La parte de acero al carbono de la placa tubular se suelda al cuello de la envolvente del haz tubular del condensador que tiene una proyección de 229 mm sobre el cuerpo del condensador, además evita una unión embridada con el cuerpo del condensador que aumentaría el riesgo de entradas de aire por la junta de brida, y embridada y atornillada con la caja de agua tipo capó. Si la placa tubular fuese de titanio macizo la unión con el cuerpo del condensador sería embridada debido a no poderla soldar con el cuerpo de acero al carbono del condensador.

Mediante una junta que se coloca en el perímetro de la placa tubular se evita que se ponga en contacto el agua de refrigeración con los pernos de las bridas de acero al carbono, de no ser así produciría corrosión galvánica entre el titanio y el acero del perno, aunque actualmente se estudia la posibilidad de engomar también el perno en los caso de que el agua sea de mar, tal y como se engoma todo el interior de las cajas de agua.

En el lado de salida del agua de circulación, entre la placa tubular y el cuerpo del condensador se coloca una junta de expansión de 50 mm (Ver Figura 4-3), para compensar la dilatación diferencial respecto del punto fijo del condensador entre los tubos de titanio, y el acero al carbono del cuerpo del condensador, ya que los tubos de

titanio que el acero al carbono, “tirando” del cuerpo del condensador, por ello esta junta de expansión compensa dicha dilatación.

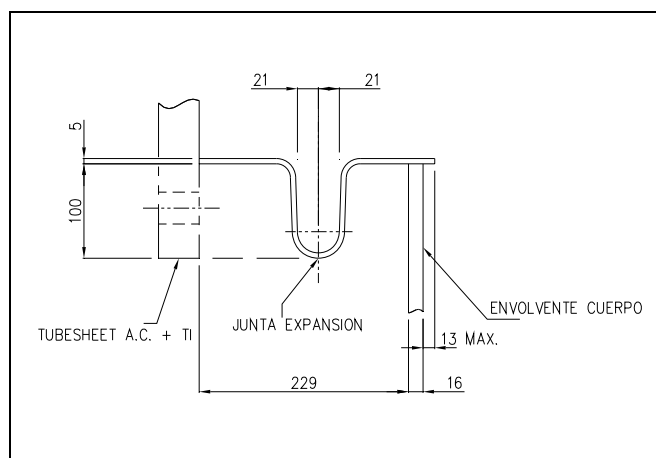


Figura 4-3: Junta de expansión, cuello envolvente

Una parte muy importante en la fabricación del haz tubular, es el taladrado de las placas tubulares, debido a la delicada operación para evitar los despegues del plaqueado (siempre se taladra del lado de titanio al del acero) y también a las tolerancias que se manejan en este tipo de trabajos según tabla 4-4. Los tubos se introducirán primeramente por una de las placas tubulares atravesando las placas soportes hasta llegar a la segunda placa.

Todos los centros de los agujeros de la placa tubular están separados por una distancia que se denomina “Pitch”, este pitch viene dado la siguiente expresión: (Ver Figura 4-4)

$$\text{PITCH} = \text{O.D.} \times 1,25$$

Donde O.D. es el diámetro exterior del tubo.

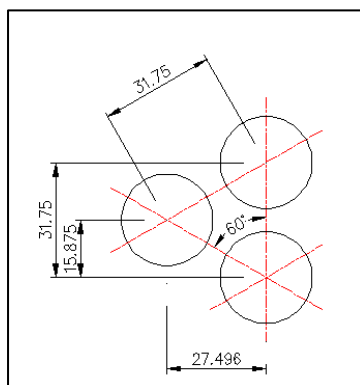


Figura 4-4: Agujeros placa tubular

Tabla 4-4: Tolerancias taladrado de las placas tubulares

TUBESHEET HOLE SIZE LIMITS		
Nominal Tube O.D. (pulgadas)	Lower (pulgadas)	Upper (pulgadas)
5/8	0,632	0,641
3/4	0,758	0,767
7/8	0,883	0,892
1	1,008	1,018
1 1/8	1,138	1,148
1 1/4	1,263	1,273
1 3/8	1,388	1,398
1 1/2	1,513	1,523
1 5/8	1,639	1,651
1 3/4	1,764	1,776
1 7/8	1,889	1,901
2	2,016	2,028

Fuente: HEI 9th Edition, 2000

La calidad del agujero final en el taladrado debe ser:

- 500 RMS para placas tubulares de acero al carbono y acero inoxidable.
- 250 RMS para placas tubulares no férricas.

No debe haber en el taladrado ni hendiduras ni rayas longitudinales visibles a la vista y en un 4 % de los agujeros se permite exceder la medida máxima en 0,1524 mm (0,006“).

4.3 MATERIAL PLACAS SOPORTE

El material de mayor uso común en la fabricación de las placas soportes es el acero al carbono laminado SA-516 Gr.70. Debido a que no tiene que soportar altas presiones ya que va situado en el interior del condensador a vacío, y no tiene ningún requerimiento especial.

Las placas soporte van situadas en el interior del condensador y estarán en contacto con agua desmineralizada y a bajas temperaturas, por lo que no tendrán problemas de corrosión.

Las placas soportes van soldadas a la pared del cuerpo del condensador y; apoyadas por encima del pozo del condensador por medio de arriostrados, las placas soporte correspondientes al haz tubular inferior; las placas soporte del haz superior van apoyadas en unos arriostrados que unen el haz superior y el haz inferior. Las placas

soporte van dispuestas a lo largo de todo el haz tubular, en este caso en cada uno de los haces del doble haz tubular, espaciadas a intervalos determinados por resultado del análisis de vibraciones y tienen la doble función de evitar la vibración de los tubos debido a la alta velocidad con la que el vapor llega al condensador y como almacén del cuerpo del condensador al operar en vacío.

En la fabricación de las placas soporte el taladrado también es un factor importante debido a la alineación que deben tener las placas soporte para permitir una pendiente final entre placas tubulares de 38 mm con el fin de favorecer el autodrenaje de los tubos, evitando así acumulaciones de agua en su interior, lo que podría causar corrosión. Normalmente se suele escuadrar y taladrar en paquetes para disminuir el tiempo de taladrado y mantener la perpendicularidad del taladro. Las tolerancias que deben tener son menos estrictas (ver tabla 4-5) que en las placas tubulares debido a que no están unidas a la placa mediante soldadura, sino que van sujetas mediante una especie de clips. La separación de los agujeros debe mantener el mismo pitch que las placas tubulares.

La calidad final del acabado del taladro debe ser de 500 RMS, además los límites del taladro debe tener un chaflán redondeado, las rebabas y puntos angulosos deben ser eliminados para evitar roturas de los tubos en la operación de inserción de los tubos.

Tabla 4-5: Tolerancias taladrado de las placas soporte

SUPPORT PLATE HOLE SIZE LIMITS		
Nominal Tube O.D. (pulgadas)	Lower (pulgadas)	Upper (pulgadas)
5/8	0,634	0,649
3/4	0,760	0,775
7/8	0,885	0,900
1	1,010	1,025
1 1/8	1,139	1,157
1 1/4	1,264	1,282
1 3/8	1,389	1,407
1 1/2	1,514	1,532
1 5/8	1,640	1,660
1 3/4	1,765	1,785
1 7/8	1,890	1,910
2	2,017	2,037

Fuente: HEI 9th Edition, 2000

4.4 MATERIAL POZO

El material del pozo de condensados se construye totalmente en acero al carbono del mismo tipo que las placas soporte, se fabrica en dos mitades que se ensamblan finalmente en campo mediante soldadura. El condensador va arriostrado completamente por dentro tanto en las fijaciones de las paredes laterales como tirantes en las esquinas del pozo que sirven para reforzar la estructura debido a la presión de vacío que hace que las paredes arqueen hacia dentro. El pozo va dividido por la mitad mediante una pared interior de acero al carbono, también arriostrada que no llega completamente de pared a pared, para que de esta manera se pueda pasar de una parte a otra del pozo ya que solo existe una puerta de acceso en el pozo.

4.5 MATERIAL DE LAS FUNDACIONES

El condensador se fijará al suelo mediante pernos que servirán de anclaje al condensador, además los pernos atravesarán el pozo de condensados por sus cuatro esquinas.

El condensador apoya sobre 5 fundaciones, 4 de ellas deslizan sobre dos láminas de teflón (Fig. 4-5), y una que se sitúa en el centro del condensador, que es un punto fijo. Los 4 puntos deslizantes se sitúan en las esquinas del condensador, cada uno de estos puntos deslizantes están compuestos por una placa base ("*Base plate*"), de acero al carbono de 50 mm de espesor, una placa de acero al carbono embebida en la fundación ("*Sole Plate*") mediante un perno con un manguito, entre la "*Base Plate*" y la "*Sole Plate*" van colocadas dos placas de teflón de 6 mm que sirven para que el condensador deslice sobre ellas, absorbiendo así los movimientos del condensador debido a los momentos generados provocados por el movimiento de la turbina y el vacío del condensador. La "*Base Plate*" se suelda al pozo del condensador ya que son del mismo material, acero al carbono.

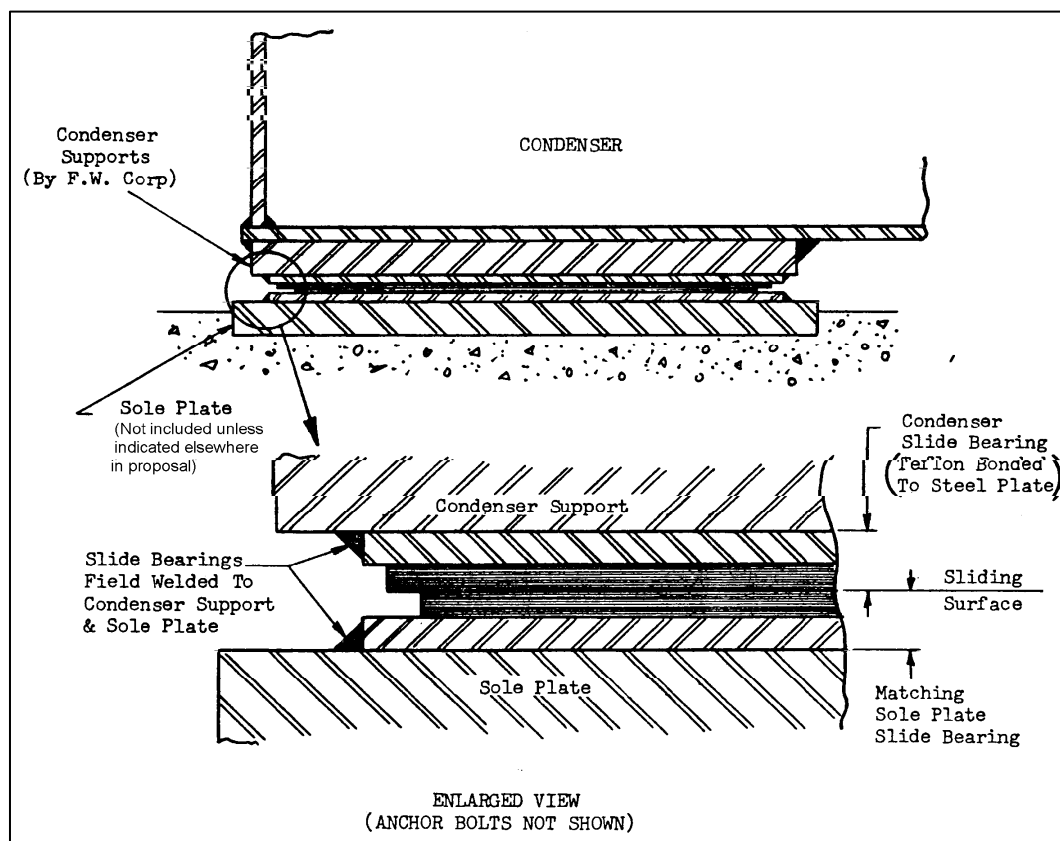


Figura 4-5: Fundaciones del Condensador

4.6 MATERIAL CUELLO INFERIOR Y JUNTA DE EXPANSIÓN

El cuello del condensador está formado por el cuello inferior y el cuello superior donde va situada la junta de expansión (chapa plegada de acero inoxidable), encargada de absorber los movimientos diferenciales debido a las dilataciones térmicas y movimientos lateral de la turbina. El material utilizado al no intervenir agua de mar en los flujos introducidos es acero al carbono, con un sobre-espesor por corrosión-erosión mayor que en otra parte del condensador debido a los grandes caudales y velocidades del vapor entrante. El interior del cuello va arriostrado con tubos y cruzado con vigas de acero al carbono para evitar que se arrugue en su funcionamiento al vacío, además van situados las tuberías de bypass, que son de acero inoxidable.

En los condensadores axiales la junta de expansión es circular de diámetro igual a del cuerpo de turbina por donde sale el vapor. Las juntas de expansión de los condensadores axiales están compuestas por dos compensadores cada uno de ellos multi-fuelle (ver figura 4-6) a diferencia de los condensadores verticales que son únicamente de un único

compensador. Los materiales de la junta de expansión son un cuerpo de acero al carbono SA-516 Gr. 70 y los compensadores son acero inoxidable SA- 240 tp 316.



Figura 4-6: Junta de expansión en taller

4.7 MATERIAL CUERPO Y CAJAS DE AGUA

El material utilizado es el acero al carbono laminado que posteriormente se le da forma hasta conseguir la geometría final requerida. Si se quiere ver los materiales recomendados por el Heat Exchange Institute, véase la tabla 4-6.

Cuando se fabrica el condensador con placas tubulares macizas de titanio, o como es en nuestro caso plaqueadas con titanio, hay que tener mucho cuidado ya que por efecto de corrosión galvánica el acero al carbono puede desaparecer muy rápidamente. Por este motivo las cajas de agua llevan doble protección: primero mediante un sistema de corrientes impresas (para igualar los potenciales eléctricos) o ánodos de sacrificio y segundo, un recubrimiento interior de las cajas de agua con neopreno, en el caso de agua de mar como medio de refrigeración. Estos medios alargan la vida de los materiales de las cajas de agua y en definitiva del cuerpo del condensador.

Para este condensador el material utilizado para las cajas de agua es acero al carbono del tipo SA-516 Gr. 70, en cada una de ellas existe una puerta para la entrada de operarios para el mantenimiento de las mismas. Las cajas de agua van embridadas a la placa tubular por medio de una junta de Tesnit-Ba-R. Las cajas de agua de entrada y salida no son divididas ya que tenemos un solo paso de agua de circulación a través de los tubos.

Como tenemos un condensador de un solo paso del agua de circulación no existen cajas de agua de retorno propias de los condensadores de dos pasos, en contraposición a estas cajas de retorno tenemos 2 cajas de agua de entrada en un lado del condensador y otras 2 cajas de salida en el lado opuesto del condensador por donde sale el agua de circulación.

Como el agua de circulación empleada en este condensador es agua de mar, para evitar en mayor grado la corrosión que esta produciría en el acero al carbono de las cajas, se realiza un recubrimiento interior de 5 mm de Neopreno.

Tabla 4-6: Materiales cuerpo y cajas de agua

COMPONENTES	MATERIALES	ESPECIFICACIÓN
SHELL AND WATER BOXES	Carbon Steel Plates	ASTM A 36 ASTM A 283 ASTM A 285 ASTM A 515 ASTM A 516
	Stainless Steel Plates	ASTM B 240
	70/30 CuNi Plate and Sheet	ASTM B 402
	90/10 CuNi Plate and Sheet	ASTM B 402
	Structural Shapes	ASTM A 36
	Bars and Forgings	ASTM A 36 ASTM A 105 ASTM A 266 ASTM A 675 AISI 1020 to 1030
	Pipe (Structural Application)	ASTM A 53 ASTM A 106
	Cast Iron	ASTM A 48 ASTM A 278

Fuente: HEI 9th Edition, 2000

5 CÁLCULOS

5.1 DATOS PUNTO DE DISEÑO

Es de reconocer que el comportamiento del condensador no se puede predecir exactamente en cada una de las condiciones de operación, por lo que todos los datos y curvas de comportamiento son solamente aproximados, excepto para un caso en concreto, “el punto de diseño”.

Se puede tomar como hipótesis en condensadores de vapor, que el efecto del agua de mar en contraposición al agua dulce es casi inapreciable respecto al comportamiento del condensador, en cuanto a sus propiedades termodinámicas. Además las leyes medioambientales obligan y restringen la temperatura de descarga del condensador a los recursos acuíferos donde se toma para refrigerar el condensador, con estas consideraciones se realizará el diseño del condensador.

El diseño de un condensador debe considerar los efectos de los gases incondensables que están presentes en el condensador, caída de presión del flujo de vapor a través del haz tubular y la inundación de los tubos cuando el condensado cae a través del haz tubular. Debido a estos efectos, el coeficiente de transmisión de calor de un condensador comercial en operación es menor que el obtenido en ensayos de laboratorio.

El coeficiente de transferencia de calor publicado en el HEI es para obtener el coeficiente global del haz tubular, estos valores toman en cuenta otros parámetros que las ecuaciones básicas de transferencia de calor a través de la pared del tubo no consideran.

Para el cálculo de los parámetros más importantes del condensador, como coeficiente de transmisión global del haz tubular, área de intercambio, número de tubos, longitud de tubos y pérdida de carga lado agua, se siguen una serie de pasos que se describen a continuación.

Antes de continuar, podemos observar en la tabla 5-1 del ciclo de condensación en el condensador, realizado con los datos proporcionados por el cliente.

A partir de dicha tabla de datos del cliente se obtiene los siguientes parámetros del condensador y el balance de energía y materia en el condensador tanto del circuito de vapor (lado vapor) y del circuito de agua (lado agua de circulación).

Tabla 5-1: Datos Cliente

Circuito Vapor	Unid. S.I.	Condición de Diseño
1. Entrada Vapor de turbina		
Flujo	kg/h	237 400
Presión	bara	0,0627
Temperatura	°C	36,99
Entalpía	kJ/kg	2 224,80
Calidad vapor		0,86
Calor total	kJ/h	528 167 520
2. Entrada de Vapor de Conexiones		
Flujo	kg/h	5 600
Entalpía	kJ/kg	737,55
Calor Total	kJ/h	4 130 262
3. Condensado		
Flujo	kg/h	243 000
Presión	bar	0,0627
Temperatura	°C	36,99
Entalpía	kJ/kg	154,87
Calor total	kJ/h	37 633 410
Circuito Agua de Circulación	Unid. S.I.	Condición de Diseño
4. Características Agua Circulación		
Densidad	kg/m ³	1 028
Calor Específico	kJ/kg/K	3,99
Flujo Volumétrico	m ³ /h	21 970
Flujo Másico	kg/h	22 585 160
Temperatura de Entrada	° C	21,00
Temperatura de Salida	° C	26,52
Presión	bara	2,70
Velocidad	m/s	2,44
Calor Total	kJ/h	497 136 253

Fuente: Foster Wheeler

A partir de dicha tabla de datos del cliente se obtiene los parámetros del condensador y el balance de energía y materia en el condensador tanto del circuito de vapor (lado vapor) y del circuito de agua (lado Agua de circulación).

5.2 CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN DE CALOR

Para el cálculo del coeficiente de transmisión utilizaremos la tabla 5-2, que están basados en tubos totalmente limpios de galga 18 BWG* de admiralty a una temperatura de entrada del agua de circulación de 70 °F. A continuación habrá que corregir dicho coeficiente con los factores de corrección del agua de entrada de circulación, el factor del tipo de material y galga, y con el factor de limpieza.

El cálculo de dicho coeficiente se realiza mediante:

$$U = U_1 \times F_W \times F_M \times F_c$$

Descripción de variables:

- U : Coeficiente de transmisión de calor (Btu/h·ft²·°F)
- U_1 : Coeficiente de transmisión de calor basado en tubos de 18 BWG de admiralty, totalmente limpios y con una temperatura de entrada del agua de circulación de 70 °F. Se puede utilizar tanto la tabla 5-2 “Coeficiente de transmisión de calor sin corregir U_1 ”. (Btu/h·ft²·°F)
- F_W : Factor de corrección entrada del agua de circulación. Utilizaremos la tabla 5-3 “Factor de corrección del agua de circulación F_W ”.
- F_M : Factor de corrección para el material y galga del tubo. Se utilizará para su determinación la tabla 5-4 “Factor corrección para el material y la galga del tubo F_M ”.
- F_C : Coeficiente de corrección para el grado de limpieza o “Factor de limpieza” de los tubos con la que se quiere calcular el coeficiente de transmisión de calor. Normalmente es un dato que da el cliente en su especificación, dependiendo de su valor, el tamaño del condensador será mayor o menor.

5.2.1 Cálculo de U_1

Comenzamos por el cálculo de U_1 utilizando la tabla 5-2. Para poder hallar el valor que nos hace falta en nuestro cálculo, necesitamos dos parámetros en concreto, el diámetro de los tubos en pulgadas) y la velocidad del agua de refrigeración con la que se diseña el condensador V_w en pies por segundo.

El diámetro de tubos que utilizamos es 1" (25,4 mm), la velocidad de diseño según especifica el cliente en su hoja de datos es 8 ft/s (2,44 m/s).

$$U_1 = 743,9 \text{ BTU/h}\cdot\text{ft}^2\cdot^\circ\text{F} \approx 4\,224,06 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$$

Tabla 5-2: Coeficiente de transmisión de calor sin corregir U_1

TUBE DIAMETER	TUBE VELOCITY								
	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
0.625 & 0.75	462.6	499.5	534.0	566.4	597.0	626.2	654.0	680.7	706.4
0.875 & 1.00	455.0	492.0	526.0	557.9	588.1	616.8	644.2	670.5	695.8
1.125 & 1.25	448.6	484.5	518.0	549.4	579.1	607.4	634.4	660.3	685.2
1.375 & 1.50	441.7	477.1	510.0	540.9	570.2	598.0	624.6	650.1	674.7
1.625 & 1.75	434.7	469.6	502.0	532.5	561.3	588.6	614.8	639.9	664.1
1.875 & 2.00	427.8	462.1	494.0	524.0	552.3	579.8	605.0	629.7	653.5

TUBE DIAMETER	TUBE VELOCITY									
	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0
0.625 & 0.75	731.2	755.2	775.5	795.3	814.1	831.9	848.9	865.2	880.7	895.6
0.875 & 1.00	720.3	743.9	763.9	783.2	801.6	819.0	835.6	851.5	866.6	881.1
1.125 & 1.25	709.3	732.6	752.0	770.7	788.4	805.3	821.4	836.7	851.3	865.3
1.375 & 1.50	698.3	721.2	740.4	758.7	776.1	792.6	808.3	823.2	837.5	851.2
1.625 & 1.75	687.4	709.9	727.8	745.7	762.7	778.8	794.1	808.8	822.7	836.0
1.875 & 2.00	676.4	698.6	716.8	734.4	751.0	766.8	781.8	796.2	809.8	822.9

Fuente: HEAT EXCHANGE INSTITUTE

5.2.2 Cálculo de F_w y F_M

A continuación se calcula el factor de corrección para la entrada del agua de circulación en el condensador (F_w) según tabla 5-3 y el factor de corrección para el material y galga del tubo del haz tubular (F_M) ayudándonos con la tabla 5-4.

Según vemos en la tabla 5-3 el único parámetro que necesitamos para obtener el factor de corrección es la temperatura de entrada del agua de refrigeración (en nuestro caso 26,52 °C que equivale a 79,73 °F). Por lo tanto obtenemos un valor para dicho factor:

$$F_w = 1,044$$

Tabla 5-3: Factor de corrección del agua de circulación F_w

Inlet Water °F	F_w	Inlet Water °F	F_w	Inlet Water °F	F_w
30	0.650	60	0.923	90	1.075
31	0.659	61	0.932	91	1.078
32	0.669	62	0.941	92	1.080
33	0.678	63	0.950	93	1.083
34	0.687	64	0.959	94	1.085
35	0.696	65	0.968	95	1.088
36	0.706	66	0.975	96	1.090
37	0.715	67	0.982	97	1.092
38	0.724	68	0.989	98	1.095
39	0.733	69	0.994	99	1.097
40	0.743	70	1.000	100	1.100
41	0.752	71	1.005	101	1.103
42	0.761	72	1.010	102	1.106
43	0.770	73	1.015	103	1.108
44	0.780	74	1.020	104	1.110
45	0.789	75	1.025	105	1.113
46	0.798	76	1.029	106	1.115
47	0.807	77	1.033	107	1.117
48	0.816	78	1.037	108	1.119
49	0.825	79	1.041	109	1.121
50	0.834	80	1.045	110	1.123
51	0.843	81	1.048	111	1.125
52	0.852	82	1.051	112	1.127
53	0.861	83	1.054	113	1.129
54	0.870	84	1.057	114	1.131
55	0.879	85	1.060	115	1.133
56	0.888	86	1.063	116	1.135
57	0.897	87	1.066	117	1.137
58	0.906	88	1.069	118	1.139
59	0.914	89	1.072	119	1.141
				120	1.143

Fuente: HEI 9th Edition, 2000

Para corregir el material y galga a los que están referidos los coeficientes de transmisión de calor con el tubo de titanio de BWG 24 se utiliza lo siguiente, tabla 5-4, obtenemos un valor para dicho factor:

$$F_M = 0,94$$

Tabla 5-4: Factor de corrección para el material y la galga del tubo

Tube Materials	Tube Wall Gauge - BWG								
	25	24	23	22	20	18	16	14	12
Admiralty Metal	1.03	1.03	1.02	1.02	1.01	1.00	0.98	0.96	0.93
Arsenical Copper	1.04	1.04	1.04	1.03	1.03	1.02	1.01	1.00	0.98
Copper Iron 194	1.04	1.04	1.04	1.04	1.03	1.03	1.02	1.01	1.00
Aluminum Brass	1.03	1.02	1.02	1.02	1.01	0.99	0.97	0.95	0.92
Aluminum Bronze	1.02	1.02	1.01	1.01	1.00	0.98	0.96	0.93	0.89
90-10 Cu-Ni	1.00	0.99	0.99	0.98	0.96	0.93	0.89	0.85	0.80
70-30 Cu-Ni	0.97	0.97	0.96	0.95	0.92	0.88	0.83	0.78	0.71
Cold Rolled Carbon Steel	1.00	1.00	0.99	0.98	0.97	0.93	0.89	0.85	0.80
Stainless Steel Type 304/316	0.91	0.90	0.88	0.86	0.82	0.75	0.69	0.62	0.54
Titanium	0.95	0.94	0.92	0.91	0.88	0.82	0.77	0.71	0.63
UNS N08367	0.90	0.89	0.87	0.86	0.81	0.74	0.67	0.60	0.52
UNS S43035	0.95	0.94	0.92	0.91	0.88	0.82	0.77	0.71	0.63
UNS S44735	0.93	0.91	0.90	0.88	0.85	0.78	0.72	0.65	0.57
UNS S44660	0.93	0.91	0.90	0.88	0.85	0.78	0.72	0.65	0.57

Fuente: HEAT EXCHANGE INSTITUTE

5.2.3 Cálculo de F_C

En operación, el agua de circulación y el vapor condensado producirán una película de resistencia en la superficie del tubo, que dependerá de las características del fluido. El valor que se utiliza en el diseño del “Factor de limpieza” deberá ser elegida por el cliente. En este caso el factor de limpieza es:

$$F_C = 0,85$$

El coeficiente global de transmisión de calor será, aplicando la fórmula anterior:

$$U = U_1 \times F_w \times F_c = 743,9 \times 1,044 \times 0,94 \times 0,85 = 620,53 \text{ Btu/h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

$$U = 620,53 \text{ Btu/h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} \approx 3\,523,53 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

5.3 CÁLCULO DEL ÁREA DE INTERCAMBIO DE CALOR

Para calcular el área de intercambio utilizaremos las ecuaciones generales de transferencia de calor siguientes:

$$Q = U \times A_s \times \text{LMTD}$$

- Q: Cantidad de calor que hay que evacuar en el condensador para condensar el vapor (Btu/h).
- U: Coeficiente de transmisión de calor (Btu/h·ft²·°F).
- A_s: Área de intercambio de calor (ft²).
- LMTD: Diferencia media logarítmica de la temperatura (°F).

5.3.1 Cálculo calor del condensador

El coeficiente de transmisión de calor ya ha sido calculado previamente, por lo que a continuación calcularemos la cantidad de calor que hay que evacuar del vapor de la turbina para condensarlo, en función de las entalpías del vapor y del condensado, y del caudal de vapor de la turbina de baja presión, según:

$$Q = [(H_{\text{vapor}} \times W_s) - (H_{\text{condensado}} \times W_c)] + \text{Aportes de Calor}$$

- Q: Cantidad de calor que hay que evacuar en el condensador para condensar el vapor.(kJ/h).
- H_{vapor}: Entalpía de vapor de turbina (kJ/kg).
- H_{condensado}: Entalpía del condensado (kJ/kg).
- W_s: Caudal de vapor de turbina (kg/h).
- W_c: Caudal de condensado (kg/h)

$$Q = [(2\,224,8 \times 237\,400) - (154,87 \times 243\,000)] + 4\,130\,262 = 494\,664\,372 \text{ kJ/h}$$

$$Q = 494\,664\,372 \text{ kJ/h}$$

5.3.2 Cálculo LMTD

Continuaremos nuestro cálculo con la diferencia media logarítmica de la temperatura, necesaria para el cálculo de la superficie de intercambio que condensa el vapor de turbina.

$$LMTD = \frac{TR}{Ln\left(\frac{ITD}{TTD}\right)}$$

- LMTD: Diferencia media logarítmica de la temperatura (°F).
- TR: Incremento de la temperatura de refrigeración del agua (°F)
- ITD: Diferencia de temperatura inicial, entre la temperatura de saturación del vapor y la temperatura de entrada del agua de refrigeración (°F).
- TTD: Diferencia de temperatura terminal, entre la temperatura de saturación del vapor y la temperatura de salida del agua de refrigeración (°F).
- TR: Incremento de la temperatura de refrigeración del agua (°F)

$$TR = T_2 - T_1$$

- T_2 : Temperatura de salida del agua de refrigeración (°F).
- T_1 : Temperatura de entrada del agua de refrigeración (°F).

$$ITD = T_s - T_1$$

- ITD: Diferencia de temperatura inicial, entre la temperatura de saturación del vapor y la temperatura de entrada del agua de refrigeración (°F).
- T_s : Temperatura de saturación del vapor (°F).
- T_1 : Temperatura de entrada del agua de refrigeración (°F).

$$TTD = T_s - T_2$$

- TTD: Diferencia de temperatura terminal, entre la temperatura de saturación del vapor y la temperatura de salida del agua de refrigeración (°F).
- T_s : Temperatura de saturación del vapor (°F).
- T_2 : Temperatura de salida del agua de refrigeración (°F).

Disponiendo de todos los datos en nuestro balance de materia y energía y en los datos del cliente, entonces resulta:

$$LMTD = \frac{TR}{Ln\left(\frac{ITD}{TTD}\right)} = \frac{T_2 - T_1}{Ln\left(\frac{T_s - T_1}{T_s - T_2}\right)} = \frac{79,73 - 69,80}{Ln\left(\frac{98,58 - 69,80}{98,58 - 79,73}\right)} = 23,47^\circ F$$

$$LMTD = 23,47^\circ F \approx 13,04^\circ C$$

5.3.3 Cálculo del área efectiva de intercambio de calor

Tenemos todos los parámetros necesarios para calcular el área de intercambio, por lo tanto volviendo a la fórmula del inicio y despejando la superficie tendremos lo siguiente:

$$Q = U \times A_s \times LMTD$$

$$A_s = \frac{Q}{U \times LMTD} = \frac{468\,851\,361}{620,53 \times 23,47} = 32\,192,84\,ft^2$$

$$A_s = 32\,192,84\,ft^2 \approx 2\,991\,m^2$$

El área calculada es toda la superficie necesaria para condensar el vapor proveniente de turbina, en condiciones de flujo, temperatura y presión especificadas anteriormente. Con este dato a continuación podremos empezar a dimensionar el condensador, calculando, el número de tubos, su longitud y la pérdida de carga en el lado de agua de circulación.

5.4 CÁLCULO DEL CALOR DEL AGUA DE CIRCULACIÓN

Para calcular el calor del agua de circulación debemos emplear la ecuación general de intercambio de calor:

$$Q = (T_s - T_e) \times C_e \times W_{ac}$$

Donde:

- T_s : Temperatura de salida del agua de circulación ($^\circ C$)
- T_e : Temperatura de entrada del agua de circulación ($^\circ C$)

- C_e : Calor específico del agua de circulación (kJ/(kg K))
- W_{ac} : Caudal másico del agua de circulación (kg/h)

De la tabla 5-1 Datos del Cliente, obtenemos el siguiente calor de agua de circulación:

$$Q = 497\,136\,253 \text{ kJ/h} \approx 471\,194\,252 \text{ Btu/h}$$

5.5 BALANCE DE ENERGÍA Y MATERIA DEL CONDENSADOR

Con los datos del cliente, el calor del agua de circulación y el calor de vapor de turbina, condensado y calor auxiliar, calculados anteriormente, se obtiene el siguiente balance de energía y materia del condensador, ver tabla 5-5.

En dicho balance se puede observar que se realiza un balance para el circuito vapor y otro para el circuito del agua de circulación. Una vez realizados los balances de vapor y sistema de refrigeración, se obtienen unos ratios para comprobar el funcionamiento y la efectividad del condensador.

Tabla 5-5: Balance de energía y materia

Circuito Vapor	Unid. S.I.	Condición de Diseño
1. Condiciones Ambientales		
Presión Atmosférica	bara	1,013
Temperatura Ambiente	°C	19,60
Humedad Relativa	%	67,00
2. Vapor de Turbina		
Flujo	kg/h	237 400
Presión de Vacío	bara	0,0627
Temperatura de Saturación	°C	36,99
Entalpía	Kg/h	2 224,80
Calor Total	kJ/h	528 167 520
3. Vapor de Conexiones		
Flujo	kg/h	5 600
Presión	bara	1
Temperatura	°C	99,63
Entalpía	kJ/kg	737,546
Calor Total	kJ/h	4 130 262
4. Condensado		
Flujo	kg/h	243.000,00
Presión	bara	0,0672
Temperatura	°C	36,99
Entalpía	kJ/kg	154,87
Calor Total	kJ/h	37 633 410
BALANCE LADO VAPOR		
DIFERENCIA FLUJO (entrada vapor - condensado)	kg/h	0,00
CALOR TOTAL VAPOR + CALOR AUXILIAR	kJ/h	532 297 782
CALOR CONDENSADO	kJ/h	37 633 410
CALOR DE DISEÑO (calor vapor - calor condensado)	kJ/h	494 664 372
Circuito Agua de Circulación	Unid. S.I.	Condición de Diseño
1. Agua de Circulación		
Temperatura entrada	°C	21,00
Temperatura salida	°C	26,52
DIF entrada / salida	°C	5,52
CONDENSADO-CW outlet (3 °C min)	°C	10,47
LMTD	°C	13,04
Presión	bara	2,70
Densidad	kg/m ³	1 028
Flujo Volumétrico	m ³ /h	21 970
Flujo Másico	kg/h	22 585 160
Velocidad Agua de Circulación	m/s	2,44
Ce	kJ/(kg K)	3,99
Calor Total Agua de Circulación	kJ/h	497 136 253
BALANCE CONDENSADOR		
CALOR AGUA CIRC. – CALOR DISEÑO	kJ/h	2 471 881
RATIO DE TEMPERATURA	%	35
FLUJO AGUA CIRC. / FLUJO VAPOR		93
CALOR AGUA CIRC. / CALOR DISEÑO	%	99,5

5.6 CÁLCULO DEL NÚMERO DE TUBOS DEL CONDENSADOR

Solamente necesitamos conocer el flujo de agua de circulación que entra en el condensador y a partir de ahí calcular el área de paso que necesitamos instalar en el condensador en función del número de tubos. Como la velocidad de diseño la conocemos ya que es proporcionada por el cliente, aplicamos la fórmula siguiente:

$$V = \frac{W_G}{\pi R_i^2 \times \frac{N}{n^\circ \text{ pasos}}}$$

- V: Velocidad del agua de refrigeración en el interior de los tubos (ft/s).
- W_G : Caudal del agua de circulación. (ft³/min).
- R_i : Radio interior de los tubos (ft).
- N: Número de tubos en total del condensador.
- n° pasos: Número de pasos del agua de circulación.

Tenemos todos los datos necesarios para calcular el número de tubos del condensador:

El diámetro exterior de los tubos es 1" (25,4 mm) y su espesor 0,022" BWG 24 (0,558 mm), el diámetro interior de los tubos será por lo tanto 0,978" (24,8412 mm).

$$N = \frac{W_G \times n^\circ \text{ pasos}}{\pi \times R_i^2 \times V} = \frac{\frac{12\,931,05 \text{ ft}^3 / \text{min}}{60} \times 1}{\pi \times (0,489 \times 0,083)^2 \text{ ft}^2 \times 8 \text{ ft} / \text{s}} = 5\,206 \text{ tubos}$$

$$\mathbf{N = 5\,206 \text{ tubos}}$$

Estos son los tubos necesarios para condensar todo el vapor de turbina y vapor auxiliar del resto de conexiones en condensador. Estos cubren toda el área efectiva calculada anteriormente. Pero como el condensador se diseña con un 2% de tubos extras, los tubos totales que se instalarán en el condensador serán **5 312** tubos, que cubrirán un área total de intercambio de calor de **3 051 m²**.

5.7 CÁLCULO DE LA LONGITUD EFECTIVA DE LOS TUBOS

El cálculo de la longitud de los tubos se hará en función del área de intercambio calculada y del número de tubos que hay en el condensador.

$$A_s = L \times 2 \times \Pi \times R_E \times N$$

A_s : Área superficial de intercambio del condensador (ft^2).

L : Longitud del haz tubular (ft).

R_E : Radio exterior de los tubos (ft).

N : Número de tubos en total del condensador.

$$L = \frac{A_s}{2 \times \Pi \times R_E \times N} = \frac{32\,192,84}{2 \times \Pi \times 0,0416 \times 5\,462} = 23,66 \text{ ft}$$

$$L = 23,66 \text{ ft} \approx 7\,212 \text{ mm}$$

La longitud de los tubos calculada, junto con el ancho de la placa tubular en cada lado del condensador y con las dimensiones de las cajas de agua nos daría la longitud total del condensador.

5.8 CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE CARGA DEL AGUA DE CIRCULACIÓN

Según el Heat Exchange Institute la pérdida de carga del agua de circulación es calculada según el siguiente desarrollo:

$$RTT = n^\circ \text{ pasos} \times L_T \times (R_T \times R_2 \times R_1) + \Sigma R_E$$

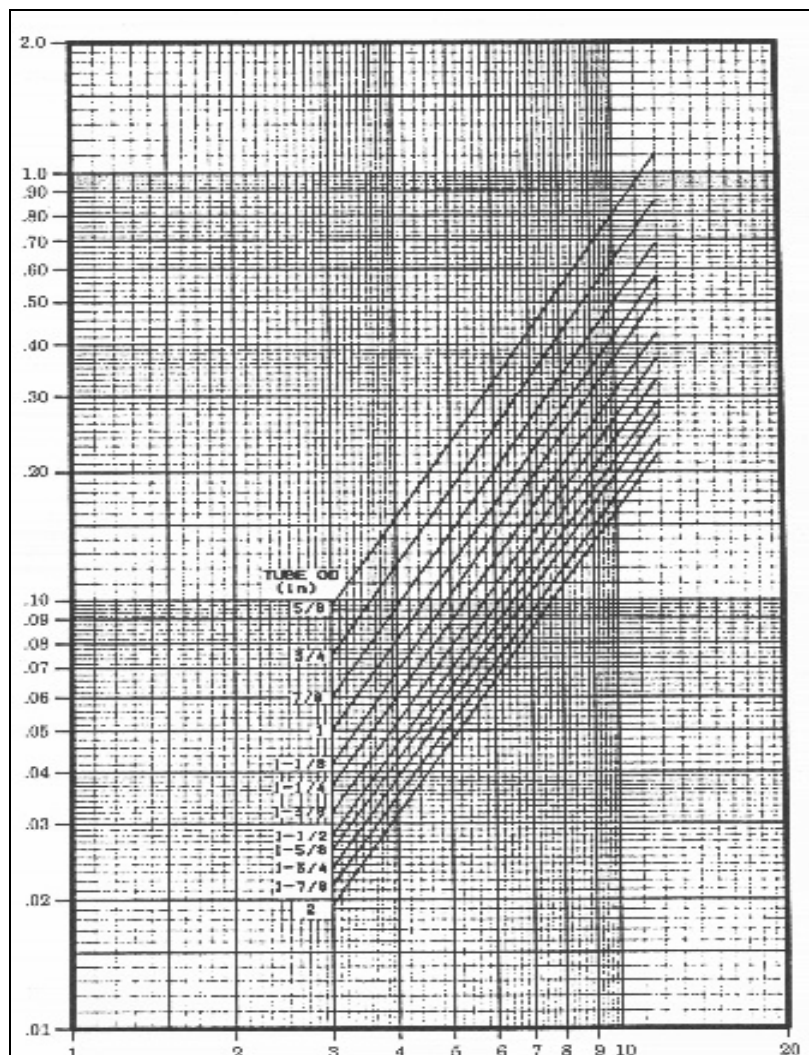
- RTT : Pérdida de carga total del agua de circulación (ft de agua).
- $n^\circ \text{ pasos}$: Número de pasos del agua de circulación.
- L_T : Longitud total de tubo (ft).
- R_T : Pérdida de carga en el tubo (ft de agua).
- R_2 : Factor de corrección de diámetro exterior del tubo y de la galga.
- R_1 : Factor de corrección de la temperatura de agua de circulación.
- R_E : Pérdida de carga de la caja de agua y parte final de los tubos (ft de agua).

5.8.1 Cálculo de R_T

Para calcular R_T se utiliza la gráfica de la figura 5-1, en función de los parámetros siguientes; el diámetro exterior de los tubos y la velocidad del agua de circulación. En el “Eje X” se representa la velocidad del agua de circulación y en el “Eje Y”, R_t (pérdida de carga en el tubo) para una galga BWG 18 (espesor de tubo 1,02 mm).

La velocidad del agua de circulación es 8 ft/s (2,44 m/s) y el diámetro exterior de los tubos es 1” (25,4 mm).

$$R_T = 0,27 \text{ ft agua / ft longitud}$$

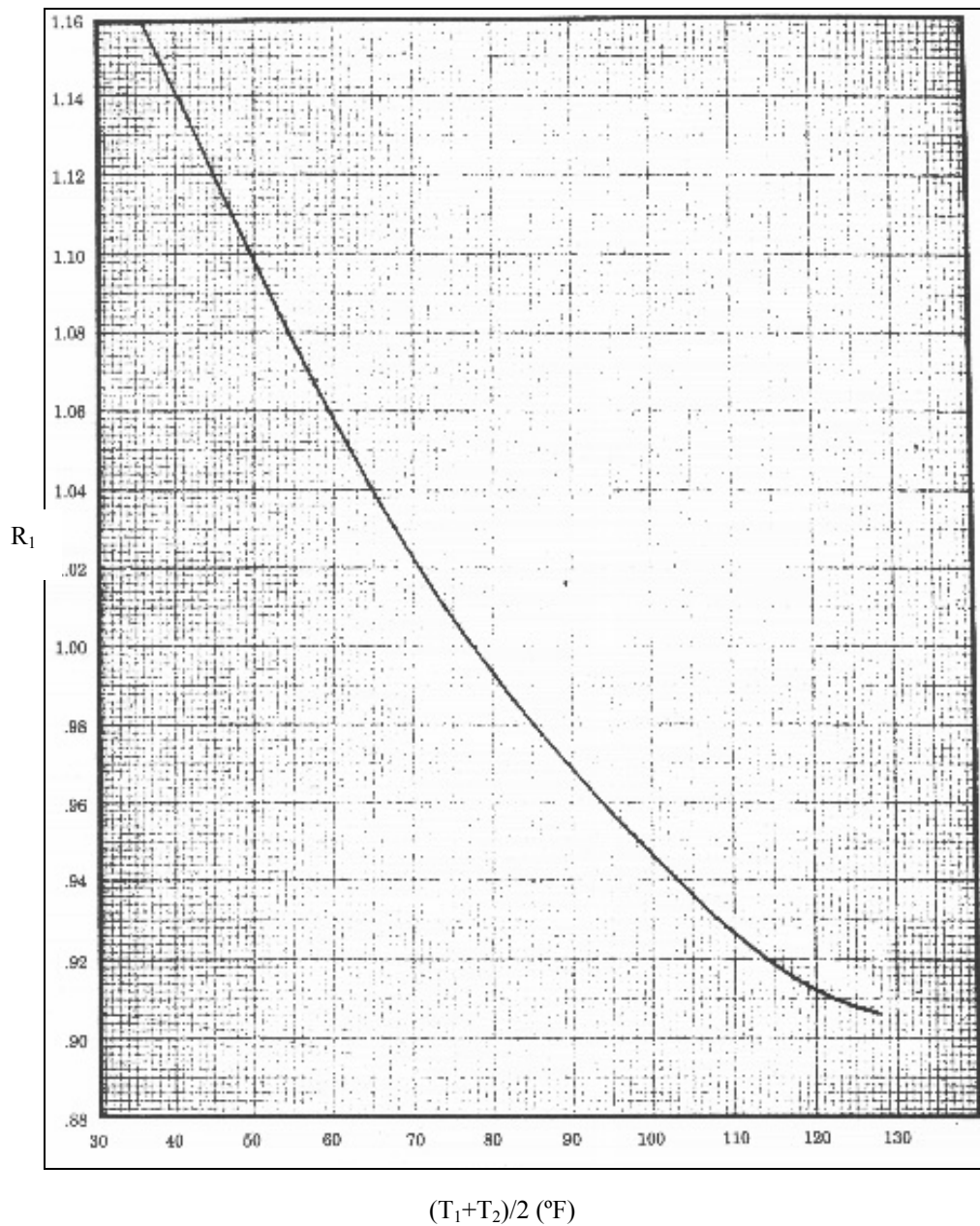


Fuente: HEI 9th Edition, 2000

Figura 5-1: Pérdida de carga para tubos de galga 18 BWG

5.8.2 Cálculo de R1 y R2

A continuación calcularemos los factores de corrección R_1 con la figura 5-2, en función de la temperatura media del agua de circulación y el factor de corrección R_2 , con la tabla 5-3, en función del diámetro exterior de los tubos y de la galga del tubo.



Fuente: HEAT EXCHANGE INSTITUTE

Figura 5-2: Factor de corrección de temperatura para la fricción de los tubos

Tabla 5-6: Factor de corrección de la galga para la fricción de los tubos

Tube O.D. in.	12 BWG	14 BWG	16 BWG	18 BWG	20 BWG	22BWG	23 BWG	24 BWG	25 BWG
0.625	1.38	1.21	1.10	1.00	0.94	0.91	0.90	0.89	0.88
0.750	1.28	1.16	1.06	1.00	0.95	0.93	0.92	0.90	0.90
0.875	1.25	1.13	1.06	1.00	0.96	0.94	0.93	0.92	0.91
1.000	1.19	1.11	1.05	1.00	0.96	0.94	0.94	0.93	0.93
1.125	1.16	1.09	1.04	1.00	0.97	0.95	0.94	0.94	0.93
1.250	1.14	1.08	1.04	1.00	0.97	0.96	0.95	0.94	0.94
1.375	1.13	1.07	1.03	1.00	0.97	0.96	0.95	0.94	0.95
1.500	1.12	1.06	1.03	1.00	0.97	0.96	0.96	0.95	0.95
1.625	1.10	1.05	1.02	1.00	0.97	0.96	0.96	0.95	0.95
1.750	1.10	1.05	1.02	1.00	0.98	0.97	0.96	0.96	0.96
1.875	1.09	1.05	1.02	1.00	0.98	0.97	0.97	0.96	0.96
2.000	1.08	1.04	1.02	1.00	0.98	0.97	0.97	0.96	0.96

Fuente: HEAT EXCHANGE INSTITUTE

La temperatura media del agua de circulación es de 23,76 °C (74,7 °F) por lo tanto el factor de corrección para la pérdida de carga del tubo R_1 es:

$$R_1 = 1,01$$

La galga del tubo es 24 BWG y de 1" (25,4 mm) de diámetro exterior, por lo tanto según la tabla 5-6 el coeficiente de corrección R_2 será:

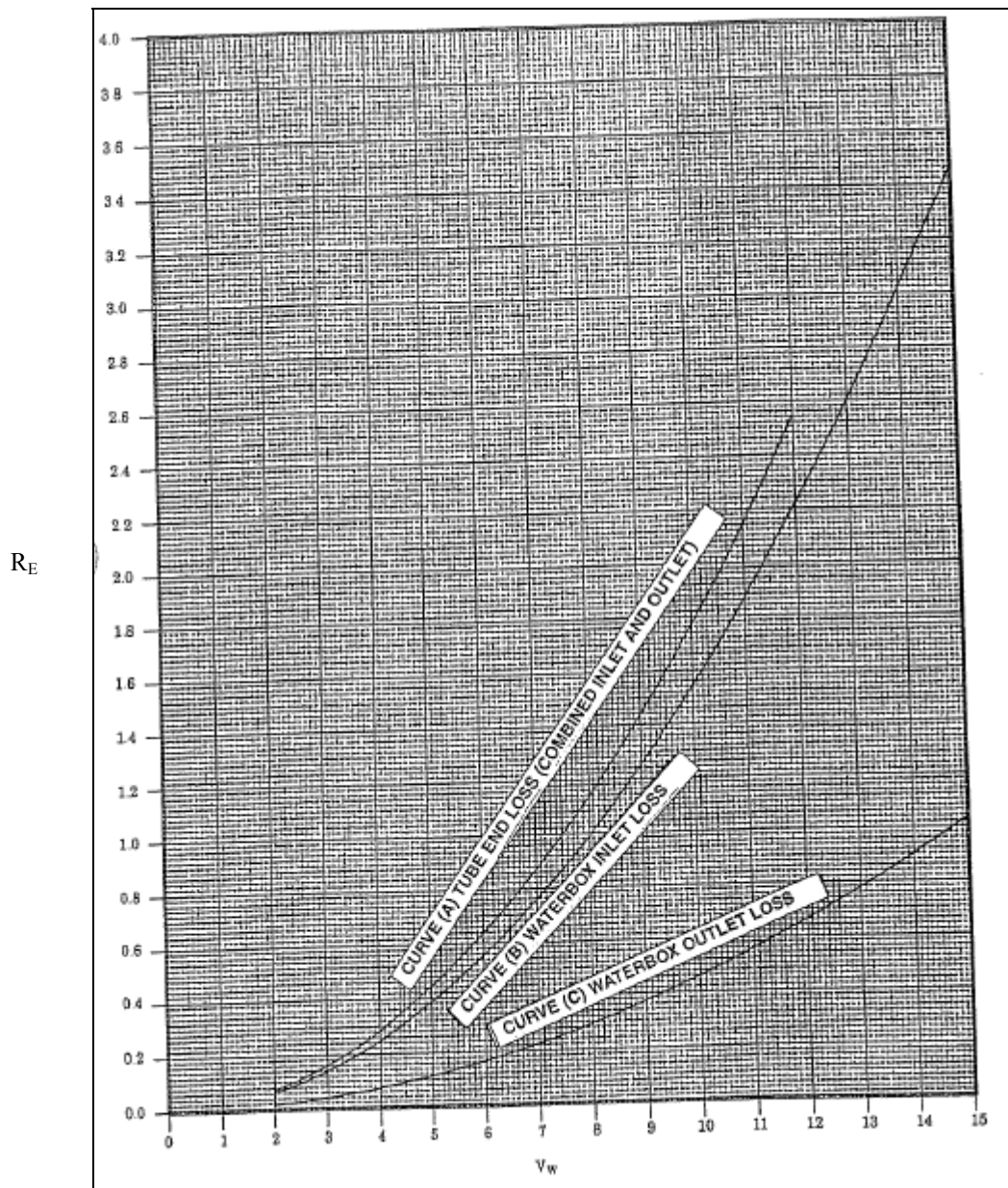
$$R_2 = 0,93$$

5.8.3 Cálculo de R_e

El siguiente paso es el cálculo de las pérdidas de carga en cada caja de agua y la entrada y salida de cada tubo. Debe tenerse en cuenta que en los condensadores con doble paso de agua de circulación esta pérdida de carga se contabiliza como doble.

Introduciendo la velocidad del agua de circulación 8 ft/s (2,44 m/s) en la gráfica de la figura 5-3, se puede obtener estas tres pérdidas de carga; pérdida de carga en la caja de agua de entrada, caja de agua de salida y en la entrada/salida de los tubos según las curvas a), b) y c) respectivamente.

$$R_E \text{ (caja de agua entrada)} = 0,90; R_E \text{ (caja de agua salida)} = 0,30; R_E \text{ (entrada/salida tubo)} = 1,16$$



Fuente: HEI 9th Edition, 2000

Figura 5-3: Pérdidas de carga en caja de agua y final de tubos con un paso

Por tanto la pérdida de carga del agua de circulación es:

$$RTT = L_T \times (R_T \times R_2 \times R_1) + \Sigma R_E = 23,66 \times (0,27 \times 1,01 \times 0,93) + 0,902 + 0,30 + 1,16 = 8,36 \text{ ft agua}$$

$$RTT = 8,36 \text{ ft agua} \approx 2,55 \text{ m.c.a. (0,249 bar)}$$

Es muy importante calcular esta pérdida de carga para el dimensionado de la bomba de agua de refrigeración, procurando que sea la menor posible, por el ahorro energético.

5.9 CÁLCULO DEL NÚMERO DE PLACAS SOPORTE

Para el cálculo de las placas soporte, es preciso conocer la longitud efectiva de los tubos, dicha longitud es la existente entre placas tubulares de un mismo haz, dicho número se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$N^{\circ} \text{ Placas Soporte} = \frac{\text{Longitud Efectiva}}{\text{Dis tan cia entre Placas Soporte}}$$

La longitud efectiva ha sido calculada anteriormente, y la distancia entre las mismas la determina el cliente, dependiendo del material de los tubos instalados en el condensador, para tubos de titanio la distancia máxima entre placas soporte es 750 mm, por tanto el número de placas soporte es el siguiente:

$$N^{\circ} \text{ Placas Soporte} = \frac{\text{Longitud Efectiva}}{\text{Distancia entre Placas Soporte}} = \frac{7\,212}{750} = 9,6 \text{ placas} \approx 10 \text{ placas}$$

Según el criterio de Foster Wheeler, siendo este un criterio conservador se añaden dos placas más que las obtenidas en el cálculo, para cumplir con el criterio del HEI. Por tanto tendremos 12 placas soporte por haz tubular, que hacen un total de 24 placas soporte en el condensador, obteniendo un espacio final entre placa soporte y placa soporte de 554 mm y un espacio entre placa soporte y placa tubular de 559. Con esta distancia se procede a realizar un análisis de vibraciones para comprobar, que con dicha luz no haya riesgos de vibraciones entre los tubos debido al flujo de vapor de turbina.

5.10 ANÁLISIS DE VIBRACIONES DEL HAZ TUBULAR

Para asegurar la fiabilidad del condensador, se ha llevado a cabo un pre-estudio de vibraciones del diseño final, de tal forma que queden aprobados los principales criterios de diseño adoptados, especialmente en lo que al número y espesor de placas soporte se

refiere. De esta forma se comprueba que la configuración del condensador es adecuada para las condiciones de operación previstas.

Para obtener una mayor seguridad en los resultados obtenidos, el análisis de vibraciones se llevará a cabo durante la fase de diseño por dos métodos distintos:

- Según el HEI.
- Por el método de *Connors*

5.10.1 Estudio de vibraciones según del HEI

El Heat Exchange Institute, propone un método de cálculo para obtener la máxima luz admisible entre placas soporte sin que haya riesgos de vibraciones inducidas por flujo. Este método se basa en considerar el volumen específico correspondiente a condiciones de flujo sónicas en el cuello de la turbina y en la consideración de una deflexión máxima de los tubos de un tercio del *pitch* (distancia entre centros de tubos).

Con esto, el criterio de aceptación del diseño según HEI es:

$$\text{SPAN}_{\text{DISEÑO}} < \text{SPAN}_{\text{HEI}}$$

Siendo SPAN el espacio de separación entre placa soporte y placa soporte.

** Cálculo de v

El primer paso según las indicaciones del HEI es calcular el volumen específico del vapor cuando suceden las condiciones de flujo sónicas en el cuello de turbina.

$$v = 1,46 \times 10^6 \times \frac{A_E}{W_S}$$

- v : Volumen específico del vapor en condiciones sónicas (ft³/lb).
- A_E : Área de escape de la turbina (ft²).
- W_S : Flujo de vapor (lb/h).

En función del área de escape de vapor de la turbina, que tiene un diámetro de 4200 mm y del flujo del vapor en condiciones de bypass, es decir, cuando se producen las velocidades mayores de vapor, se calcula el volumen específico.

El área del cuello de turbina según las dimensiones longitudinales anteriores es de 149,13 ft² y el flujo del vapor en condiciones de máximo bypass 651 273 lb/h.

$$v = 1,46 \times 10^6 \times \frac{A_E}{W_s} = 1,46 \times 10^6 \times \frac{149,13}{651273} = 334,31 \text{ ft}^3 / \text{lb}$$

**** Cálculo de P₁**

A continuación se calcula la presión de saturación P₁ en las "Tablas de vapor de agua" del anexo X correspondiente al volumen específico anterior, esta es la máxima presión a la cual la velocidad del sonido existe en el condensador.

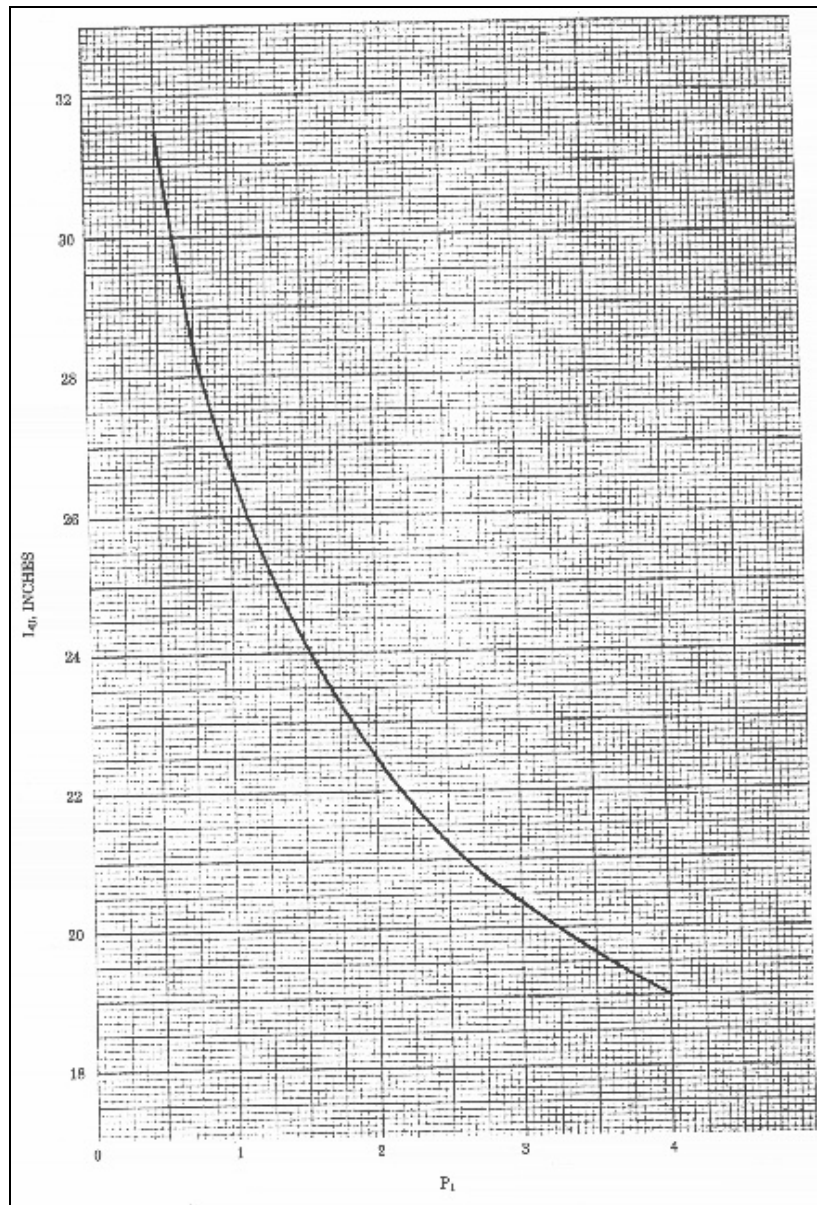
El volumen específico de 334,31 ft³/lb equivale a una presión de saturación del vapor de **2,03 in. Hg**, aproximadamente 0,0677 bara.

**** Cálculo de L_U**

Cálculo de la longitud sin corregir L_U entre placas soporte mediante el uso de la gráfica de la figura 5-4.

Si en abscisas introducimos el valor de la presión de saturación anterior resulta un valor de distancia entre placas soporte de:

$$L_U = 22,30 \text{ in} \approx 566,42 \text{ mm}$$



Fuente: HEAT EXCHANGE INSTITUTE

Figura 5-4: Determinación de L_U

** Cálculo de K_1 , K_2 y K_3

Corrección del valor de la longitud en función de los factores de corrección del espesor y diámetro exterior del tubo, del ligamento entre tubos (distancia mínima entre exteriores del tubo) y del material del tubo.

Teniendo en cuenta que los tubos son de 1" (25,4 mm) de diámetro exterior de galga 24 BWG, de ligamento 1/4" (6,35 mm) y de titanio según las tablas 5-7, 5-8 y 5-9 se calculan los factores de corrección necesarios para corregir la distancia entre placas soportes.

$$K_1 = 0,977; K_2 = 1,075; K_3 = 0,987$$

Tabla 5-7: Factor de corrección K_1

		PRESSURE RANGE, PSIA			
O.D.	BWG	0-1	1-2	2-3	3-4
5/8"	16	0.949	0.930	0.951	0.951
"	18	0.905	0.904	0.904	0.904
"	20	0.849	0.847	0.845	0.845
"	22	0.811	0.808	0.807	0.807
"	23	0.792	0.788	0.788	0.787
"	24	0.771	0.767	0.766	0.766
"	25	0.754	0.750	0.750	0.749
3/4"	16	1.052	1.055	1.055	1.055
"	18	1.000	1.000	1.000	1.000
"	20	0.934	0.934	0.933	0.933
"	22	0.893	0.890	0.889	0.889
"	23	0.871	0.868	0.867	0.867
"	24	0.847	0.843	0.843	0.843
"	25	0.829	0.825	0.824	0.824
7/8"	16	1.146	1.150	1.150	1.151
"	18	1.087	1.087	1.088	1.088
"	20	1.015	1.013	1.013	1.013
"	22	0.967	0.965	0.965	0.964
"	23	0.943	0.940	0.940	0.939
"	24	0.917	0.914	0.913	0.913
"	25	0.897	0.893	0.893	0.892
1"	16	1.232	1.237	1.238	1.238
"	18	1.167	1.168	1.169	1.169
"	20	1.088	1.087	1.087	1.087
"	22	1.036	1.034	1.033	1.033
"	23	1.010	1.007	1.007	1.007
"	24	0.981	0.977	0.977	0.977
"	25	0.960	0.957	0.956	0.956
1-1/8"	16	1.312	1.318	1.319	1.320
"	18	1.241	1.244	1.244	1.245
"	20	1.156	1.156	1.156	1.156
"	22	1.100	1.099	1.099	1.099
"	23	1.072	1.070	1.070	1.070
"	24	1.042	1.040	1.039	1.039
"	25	1.018	1.016	1.016	1.015
1-1/4"	16	1.388	1.395	1.397	1.398
"	18	1.311	1.315	1.316	1.316
"	20	1.220	1.221	1.221	1.221
"	22	1.161	1.160	1.160	1.160
"	23	1.131	1.130	1.130	1.129
"	24	1.098	1.097	1.097	1.097
"	25	1.074	1.072	1.072	1.072

		PRESSURE RANGE, PSIA			
O.D.	BWG	0-1	1-2	2-3	3-4
1-3/8"	16	1.461	1.469	1.471	1.471
"	18	1.378	1.383	1.384	1.384
"	20	1.281	1.283	1.283	1.283
"	22	1.218	1.218	1.219	1.219
"	23	1.186	1.186	1.186	1.186
"	24	1.151	1.152	1.151	1.151
"	25	1.126	1.125	1.125	1.125
1-1/2"	16	1.529	1.539	1.541	1.542
"	18	1.441	1.447	1.449	1.449
"	20	1.339	1.341	1.342	1.342
"	22	1.273	1.274	1.274	1.274
"	23	1.239	1.240	1.240	1.240
"	24	1.203	1.204	1.204	1.204
"	25	1.176	1.176	1.176	1.176
1-5/8"	16	1.594	1.605	1.607	1.609
"	18	1.501	1.509	1.510	1.511
"	20	1.394	1.398	1.398	1.399
"	22	1.325	1.327	1.327	1.327
"	23	1.290	1.291	1.292	1.292
"	24	1.252	1.253	1.253	1.254
"	25	1.224	1.224	1.225	1.225
1-3/4"	16	1.636	1.669	1.671	1.673
"	18	1.539	1.568	1.469	1.570
"	20	1.447	1.452	1.453	1.453
"	22	1.374	1.378	1.398	1.379
"	23	1.338	1.341	1.341	1.341
"	24	1.299	1.301	1.302	1.302
"	25	1.270	1.271	1.271	1.272
1-7/8"	16	1.715	1.730	1.733	1.734
"	18	1.614	1.624	1.626	1.627
"	20	1.497	1.503	1.505	1.505
"	22	1.422	1.427	1.428	1.428
"	23	1.383	1.388	1.389	1.389
"	24	1.344	1.347	1.348	1.348
"	25	1.314	1.313	1.360	1.317
2"	16	1.773	1.789	1.792	1.794
"	18	1.668	1.679	1.682	1.683
"	20	1.546	1.554	1.555	1.556
"	22	1.516	1.522	1.523	1.523
"	23	1.429	1.434	1.435	1.435
"	24	1.388	1.392	1.392	1.393
"	25	1.356	1.339	1.360	1.360

Fuente: HEI 9th Edition, 2000

Tabla 5-8: Factor de corrección K_2

Ligament, inches	K_2
3/16	1,000
1/4	1,075
5/16	1,136
8/8	1,0189
7/16	1,236
1/2	1,278

Fuente: HEI 9th Edition, 2000

Tabla 5-9: Factor de corrección K_3

Tube Material	K_3
Admiralty	1
Arsenical Cooper	1,015
Aluminium Brass	1
Aluminium Bronze	1,023
90-10 Cu Nickel	1,029
80-20 Cu Nickel	1,057
70-30 Cu Nickel	1,082
Carboon Steel	1,171
Stainless Steel	1,161
Titanium B338 Gr. 2	0,987
Alloy 194 B 543	1,022
UNS N08367	1,14
UNS S43035	1,171
UNS S44660	1,181
UNS S44735	1,171

Fuente: HEI 9th Edition, 2000

Por último aplicar los factores de corrección a la distancia sin corregir entre placas soporte, utilizando la siguiente expresión.

$$L_s = L_U \times K_1 \times K_2 \times K_3 = 30,01 \text{ in}$$

$$L_s = 23,11 \text{ in} \approx 587,16$$

Si con la longitud efectiva del tubo de 7 211 mm se realiza el espaciado de las once placas soporte teniendo en cuenta el espesor de las placas soporte que es 15 mm, nos da un resultado de **558 mm**. Por lo tanto según la condición anterior:

$$559 \text{ mm (SPAN}_{\text{DISEÑO}}) < 587 \text{ mm (SPAN}_{\text{HEI}})$$

5.10.2 Estudio de vibraciones según el método CONNORS

Según Pettigrew hay varios tipos de mecanismos de excitación vibracional de flujo inducido que pueden causar excesiva vibración en el cuerpo y en los tubos de los intercambiadores de calor y condensadores. Estos tipos de mecanismos son los que se enumeran a continuación: inestabilidad fluidoelástica, resonancia acústica, excitación inducida turbulenta y vortex shedding. De estas, la inestabilidad fluidoelástica es el

mecanismo más importante de excitación vibracional para los haces tubulares de los intercambiadores de calor sometidos a flujo cruzado. Debido a la excesiva vibración por inestabilidad fluidoelástica pueden causar fallos en los tubos por fatiga o por desgaste, para evitar estos problemas, es necesario realizar un análisis por vibraciones de flujo inducido del comportamiento durante la etapa de diseño.

Generalmente, en un haz tubular, las fuerzas de los fluidos que afectan al movimiento de un tubo repercuten en el movimiento de los tubos que le rodean. Esto crea una interacción entre las fuerzas de los fluidos y el movimiento de los tubos. La inestabilidad ocurre cuando, durante el ciclo de una vibración, la energía absorbida del fluido excede de la energía disipada por enfriamiento. Entonces, la amplitud de la vibración del tubo aumenta rápidamente y en teoría, podría convertirse en extremadamente amplia y peligrosa. En la práctica, la amplitud de la vibración es limitada por la presencia de tubos alrededor.

Por encima de una velocidad límite, la amplitud de la vibración empieza a aumentar muy rápidamente y el haz tubular se vuelve inestable. El umbral de velocidad es usualmente llamado velocidad crítica para la inestabilidad fluidoelástica, U_c .

La inestabilidad fluidoelástica es muy distinta de la resonancia por “*vortex-shedding*” que ocurre cuando la velocidad del flujo de vapor es tal que la frecuencia del “*vortex-shedding*” (remolinos que se producen en la holgura entre tubo y placa soporte), coincide con la frecuencia natural del tubo. Tal resonancia podría desaparecer si la velocidad del flujo aumenta significativamente, esto no sucede en el caso de la inestabilidad fluidoelástica, un aumento significativo en la velocidad de flujo puede resultar simplemente en una mayor y más violenta vibración. La vibración fluidoelástica puede producir diferentes modos de vibración del haz tubular, en la mayoría de los casos suele ser de subida, en otros en la dirección de arrastre y algunas veces en movimiento orbital.

El método de Connors estudia la posibilidad de que se produzcan vibraciones en los tubos del condensador debido al fenómeno conocido como “*Fluid Elastic Instability*”. Este es el tipo de vibración que más problemas suelen causar en condensadores y por lo tanto, debe ser el principal objeto de estudio vibracional.

El criterio de aceptación se basa en comparar la velocidad real del vapor en el condensador, con la velocidad teórica, $V_{crítica}$, a la cual los tubos entran en resonancia:

$$\boxed{\frac{V_{real}}{V_{Crítica}} \leq 1 \xrightarrow{\text{Margen de Seguridad}} \frac{V_{Real}}{V_{Crítica}} \leq K}$$

General Electric recomienda $K \leq 0,5$

Foster Wheeler recomienda $K \leq 0,8$

En la tabla 5-10 se pueden ver los resultados obtenidos del análisis de vibraciones.

Tabla 5-10: Resultados del análisis de vibraciones por CONNORS

Casos	K
2 Haces / condiciones garantizadas	0,167
2 Haces / condiciones By-pass	0,161
1 Haz / condiciones garantizadas	0,235
1 Haz / condiciones By-pass	0,205

Como se aprecia en los resultados los valores de K están por debajo de lo establecido como límite por General Electric que son más severos, por tanto también están por debajo de lo establecido por Foster Wheeler.

6 DIMENSIONAMIENTO Y HOJA DE DATOS

6.1 DIMENSIONAMIENTO

Una vez realizados todos los cálculos del condensador, y junto con “performances” y hojas de cálculo de Foster Wheeler, se dimensiona el condensador, obteniendo el condensador que se muestra en la figura 6-1.

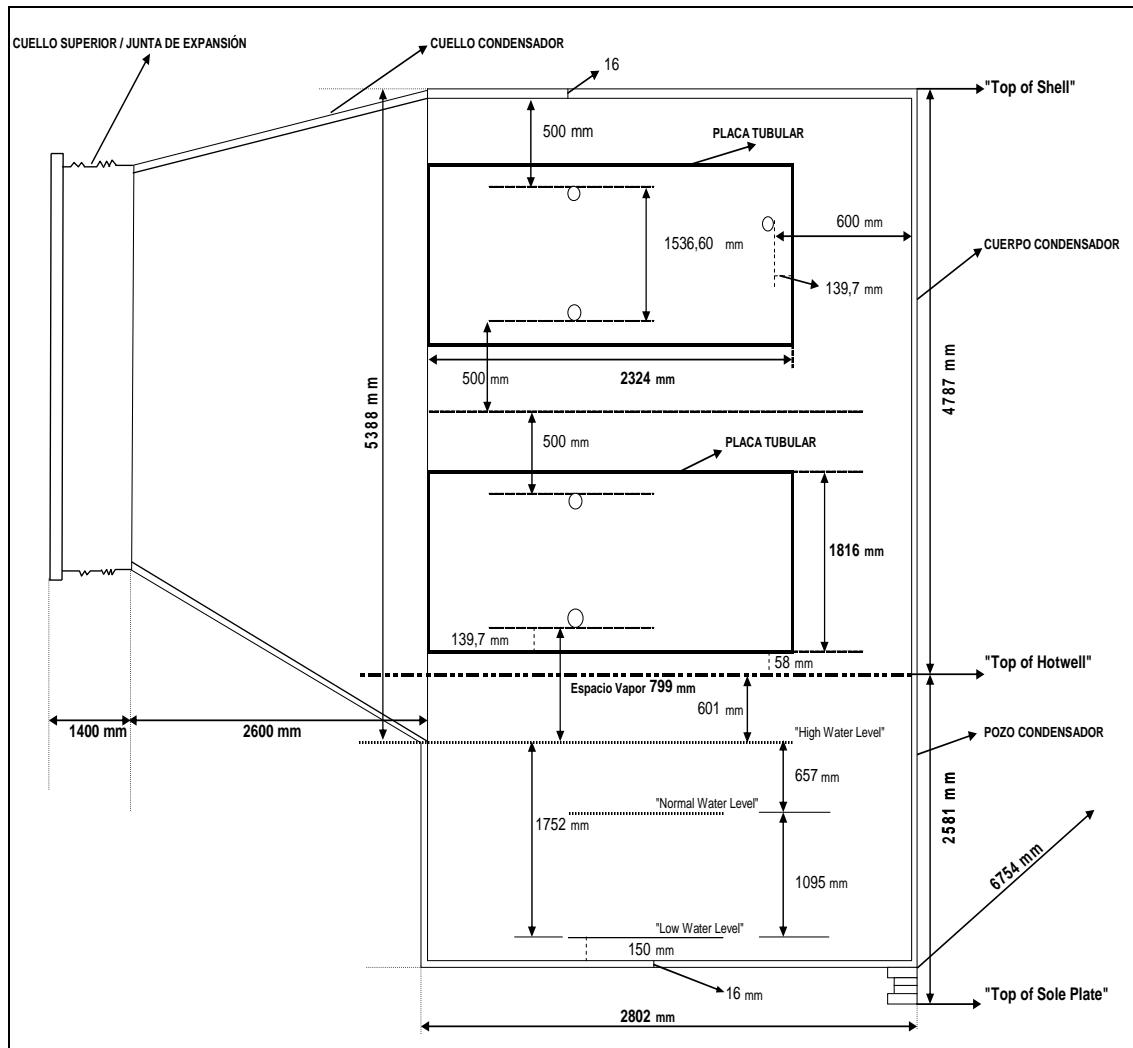


Figura 6-1: Dimensiones generales condensador axial

La hoja de datos del condensador es como se muestra en la tabla 6-1, para realizar esta tabla, se tiene en consideración, todos los cálculos del condensador, dimensiones generales y datos de funcionamiento, lado agua y lado vapor, así como los materiales de cada una de las partes del condensador.

6.2 HOJA DE DATOS

Tabla 6-1: Hoja de Datos

CONDENSADOR AXIAL DE SUPERFICIE					
HOJA DE DATOS					
CONDICIONES DE DISEÑO					
Lado Vapor			Lado Agua		
Calor de Diseño	494 664 372	kJ/h	Tipo Agua de Circulación	Agua de Mar	
Vapor de Turbina	237 400	kg/h	Densidad	1 028	kg/m ³
Caudal Incondensables	25 491	kg/h	Calor Especifico	3,99	kJ/ (kg K)
Caudal Condensado	243 00	kg/h	Caudal Agua Circulación	21 970	m ³ /h
Presión Vacío	0,0627	bara	Temp. Entrada	21	°C
Temp. Saturación	36,99	°C	Temp Salida	26,52	°C
Temp. Condensado	36,99	°C	LMTD :	13,04	°C
Condensate Temp.:	36,99	°C	Número de Pasos	1	
Presión Diseño	1,50	bara	Velocidad Agua Circulación	2,44	m/sec
Presión Cuerpo Calculada	2,06	bara	Pérdida de Carga	2,55	m.c.a
ÁREA EFECTIVA	2 991	m ²	Presión de Diseño	4	barg & vacío
ÁREA TOTAL DE INTERCAMBIO	3 051	m ²	Presión Prueba Hidrostática	6	barg
COEF. TRANSMISIÓN DE CALOR	3 523,53	W/(m ² K)	Factor de Limpieza	85	%
CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS					
TUBOS			PLACA TUBULAR		
Material Tubo	Titanio SB-338 Gr. 2		Material		
Número de Tubos	5 312	incluye 2% tubos extras	A.C. SA-516 Gr. 70 plaqueada con Ti SB-265 Gr. 1		
Diámetro Ext. Tubo	25,4	mm	Dimensiones		
		Espesor	Largo	1 816	mm
Nº Tubos Zona Condensación	4 462	0,558 mm	Ancho	2 324	mm
Nº Tubos Zona Incondensables (7%)	372	0,558 mm	Espesor	40 A.C. + 5 Ti mm	
Nº Tubos "Impingement" (9%)	478	0,711 mm			
Longitud Efectiva / Logitud Total	7 212	7 308 mm			
CAJAS DE AGUA ENTRADA / SALIDA			PLACAS SOPORTE		
Material	SA-516 Gr. 70		Material	SA-516 Gr. 70	
Tipo	Embridadas		Nº Placas Soporte	24	
Nº Cajas de Agua	2 Entrada	2 Salida	Dimensiones		
Dimensiones			Alto Banco Sup.	2 176	mm
Alto	1 816	mm	Alto Banco Inf.	1 854	mm
Ancho	2 324	mm	Ancho	2 786	mm
Espesor	Máximo	22 mm	Espaciado (Span)	554	mm
	Mínimo	16 mm	Max. Span	559	mm
Nº Conexiones Agua Circulación	1 por caja		CUELLO SUPERIOR / JUNTA EXPANSIÓN		
Diámetro Conexión	1 372	mm	Material		
Nº Puertas de Acceso	4		Cuello Superior	SA-516 Gr. 70	
Diámetro Puertas Acceso	762	mm	Junta Exp.	SA-240 tp304 (A.I.)	
Recubrimiento Interno			Diámetro	4200	mm
Tipo	Engomado		Espesor Junta	2	mm
Material	Neopreno (Cloropreno)		Espesor Cuello Sup.	20	mm
Espesor	5	mm por caja			
POZO DE CONDESADOS			CUERPO CONDENSADOR		
Material	SA-516 Gr. 70		Material	SA-516 Gr. 70	
Dimensiones			Dimensiones		
Alto	2 519	mm	Alto	4 787	mm
Ancho	2 802	mm	Ancho	2 802	mm
Longitud	6 754	mm	Longitud	6 754	mm
Espesor	16	mm	Espesor	16	mm
Tiempo de Almacenamiento	8	min			
Capacidad	46,60	m ³			

7 DESCRIPCIÓN DEL CONDENSADOR

7.1 CONDENSADOR DE ÚNICA PRESIÓN

La misión fundamental del condensador de superficie es condensar el vapor extraído de la turbina de vapor, así como proporcionar una cámara de almacenamiento para el agua condensada (pozo de condensado). La segunda función del condensador de superficie es desgasificar y recalentar el condensado que cae de los tubos y el fluido de todas las purgas y drenajes, hasta la temperatura de saturación del cuerpo del condensador. El cuerpo del condensador de superficie puede también funcionar intermitentemente como un condensador receptor de grandes cantidades de vapor procedente: de by-pass de turbina, o del generador de vapor durante la puesta en marcha, o vertidos de vapor en caso de emergencia durante la operación normal.

Termodinámicamente, el cometido principal del condensador de superficie es extraer el calor latente del vapor proveniente de la turbina. El calor del vapor se transmite al agua de circulación (refrigeración), que circula por los tubos.

Físicamente el condensador de superficie es una cámara consistente en un gran cuerpo de acero, atravesado por muchos tubos paralelos. A través de ellos pasa agua de circulación, que condensa el vapor que fluye por el exterior de los tubos. Los extremos de los tubos se introducen y se sellan en el interior de agujeros taladrados en dos placas, una a cada lado del condensador. Estas placas se denominan placas tubulares y van embridadas o soldadas al cuerpo del condensador (en el presente caso van soldadas).

Se colocan placas soporte, con una separación determinada, para evitar que los tubos se muevan y vibren. Estos soportes son placas con agujeros para guiar/soportar a los tubos, además sirven como arriostramientos (rigidizadores) del cuerpo, en condiciones de vacío o presión.

Para proporcionar agua de refrigeración a los tubos y posteriormente extraerla, se construyen cámaras separadas, denominadas cajas de agua, que se embridan a las placas tubulares. A estas cajas de agua se conectan tuberías de grandes dimensiones que hacen llegar el agua de refrigeración proveniente de las bombas a los tubos del condensador.

La parte más baja del cuerpo corresponde al depósito de condensados, diseñado para una capacidad de almacenamiento predeterminada denominado Pozo de condensados “*Hotwell*”. El pozo de condensados puede ser de la misma longitud y anchura que el resto de las partes del condensador, en cuyo caso, se llama Pozo de condensados integral (caso mas común en los condensadores de grandes dimensiones). Para los condensadores más pequeños, el pozo de condensador suele ir adosado a la parte inferior del cuerpo y en ocasiones puede denominarse como Pozo de condensados Independiente.

El condensado se extrae del pozo de condensados por medio de una o varias bombas de condensado. (En el presente proyecto mediante tres bombas del 100% de capacidad cada una, con una tubería de aspiración independiente para cada una de ellas).

El conducto existente entre el cuello de descarga del vapor de la turbina y el cuerpo del condensador se llama Cuello de extracción de vapor y esta dividido en dos partes, la parte superior se denomina Cuello superior / junta de expansión donde esta instalada la junta de expansión (como en este caso) cuando existe y la parte inferior que se denomina Cuello inferior donde se suelen ubicar la mayoría de las conexiones, principalmente las de vapor.

Durante el funcionamiento del condensador se acumula aire y gases incondensables en el cuerpo de éste, por lo que se incorpora una sección para enfriamiento interno del aire y los gases, colocando baffles alrededor de un conjunto de tubos, con el fin de enfriarlos mejor. Conectada a estos baffles se coloca un conducto/tubería de salida de aire/gases,

hasta la conexión de salida del aire y de gases incondensables, con el fin de mantener el vacío en el condensador.

Para evitar que se transmitan fuerzas y momentos perjudiciales a la turbina, debido a dilataciones verticales y horizontales por efecto de la temperatura, se toman una serie de medidas que reducen o eliminan estas fuerzas y momentos. El condensador se fija y se atornilla a las fundaciones y se coloca una Junta de Expansión de acero inoxidable (o de goma) en el cuello del condensador, entre el cuello de descarga de vapor de la turbina y el cuello inferior del condensador. En este proyecto, la junta es de acero inoxidable.

Debido a la diferente dilatación térmica entre los tubos y el cuerpo, se coloca una junta de expansión de tipo fuelle entre el cuerpo del condensador y la caja de agua de entrada o la de retorno dependiendo del tipo de material empleado en los tubos (en el presente condensador esta instalada en el lado de las cajas de agua de salida).

Además el condensador va apoyado en cuatro apoyos / soportes en cada una de las esquinas y un anclaje/punto fijo en el centro de la parte baja del condensador. Estos apoyos soportan el peso del condensador y limitan el movimiento que se produzca debido a la dilatación horizontal del condensador. Estos apoyos tienen unos cojinetes de teflón que facilitan/permiten el deslizamiento del condensador. Además se suministra una placa flexible (flex plate) en un lateral del condensador para reducir los movimientos de rotación que se pudiesen transmitir al condensador a través de alguna de las conexiones.

7.2. DESCRIPCIÓN GENERAL

El Condensador del presente proyecto, está diseñado para funcionar en un ciclo combinado de 220 MW, Ciclo Combinado integrado por dos turbinas de gas, dos calderas de recuperación y una turbina de vapor.

Este condensador se ha diseñado para cumplir con las especificaciones requeridas para este proyecto. Las especificaciones para cada planta generadora pueden variar ampliamente dependiendo de los requisitos de carga y de las limitaciones físicas. Por tanto, a pesar de que dos condensadores parezcan similares, en realidad se han diseñado para unas condiciones determinadas.

El condensador de superficie, se emplea para condensar vapor proveniente del escape de la turbina del sistema. Esta agua condensada se procesa en varias etapas, dependiendo del sistema y se devuelve de nuevo al generador de vapor. Las características técnicas básicas de diseño y los parámetros de operación del condensador de superficie se recogen en la Hoja de datos "*Hoja de Datos del Condensador*" (Ver Tabla 6-1) y en las curvas de funcionamiento adjuntas en el Anexo A. La configuración del condensador se muestra en el plano de conjunto, "*Plano Disposición General*".

7.3 INSTALACIÓN GENERAL

7.3.1 Detalles sobre la instalación

El condensador de este contrato es un Condensador de Superficie de cuerpo único, de un nivel de presión, un paso único del flujo de vapor a través de dos haces tubulares y cada haz con un único paso de agua de circulación/refrigeración.

Este condensador se ha diseñado y construido para cumplir con las garantías reflejadas en la Hoja de Datos (Tabla 6-1) y con los balances operativos de la planta. Los materiales de los diferentes componentes y sus espesores aparecen indicados en el apartado 4 del presente proyecto.

Los condensadores se prefabrican en el taller en el mayor grado posible (módulos), al objeto de reducir el tiempo de montaje en campo y asegurar la calidad del producto.

A continuación se detallan las características principales del condensador suministrado:

- (2) Haces tubulares con tubos de titanio B-338-Gr.2 (D.ext. 1 “ / longitud efectiva = 7 212 mm / 4 834 tubos con un espesor nominal de 0,558 mm – BWG 24, para los tubos de la zona de condensación e incondensables y 478 tubos con un espesor nominal de 0,711 mm – BWG 22, para los tubos de impacto ubicados en las dos primeras filas de la mitad de los dos haces tubulares situadas más próximas a la descarga de la turbina, las cantidades indicadas son para dos bancos / total tubos = 5 312), envolvente y placas soporte de SA-516 Gr70, placas tubulares de acero al carbono de SA-516 Gr70 plaqueadas con titanio B-265-Gr.1 (40 mm / A.C. + 5 mm Ti = 45 mm), la placa tubular va soldada al cuello del cuerpo (en el extremo del haz tubular donde están situadas las cajas de agua de salida, el cuello del cuerpo tiene instalada una junta de expansión de acero al carbono). En el lado de entrada de vapor en los haces tubulares se instalará una pantalla protectora compuesta por una fila de redondos macizos de 25 mm de diámetro que saldrá instalada de los talleres para proteger los haces durante el transporte y el montaje además de facilitar y reducir el periodo de montaje. La unión del tubo a la placa tubular será expandida y soldada. En la parte inferior de cada placa hay bandejas recogedoras que permiten detectar fugas en la unión tubo/placa tubular (los conductivímetros son suministrados por otros).
- (2) cajas de agua de circulación de entrada y (2) cajas de agua de circulación de salida con una conexión de agua de circulación de 54” cada una y con una puerta de acceso de 30” cada caja. Estas cajas son tipo capó atornilladas a las placas tubulares y su superficie interior se ha protegido con un recubrimiento/engomado de neopreno de 5 mm. de espesor. Y conexiones para un sistema de corrientes impresas suministrado por otros.
- (1) pozo de condensados integrado con una puerta de acceso de 30”. Se ha suministrado en una pieza con sus conexiones. En el pozo se ha instalado un sistema de vapor de calentamiento del condensado para ser usado en los arranques y/o ante caudales altos de *make-up*.

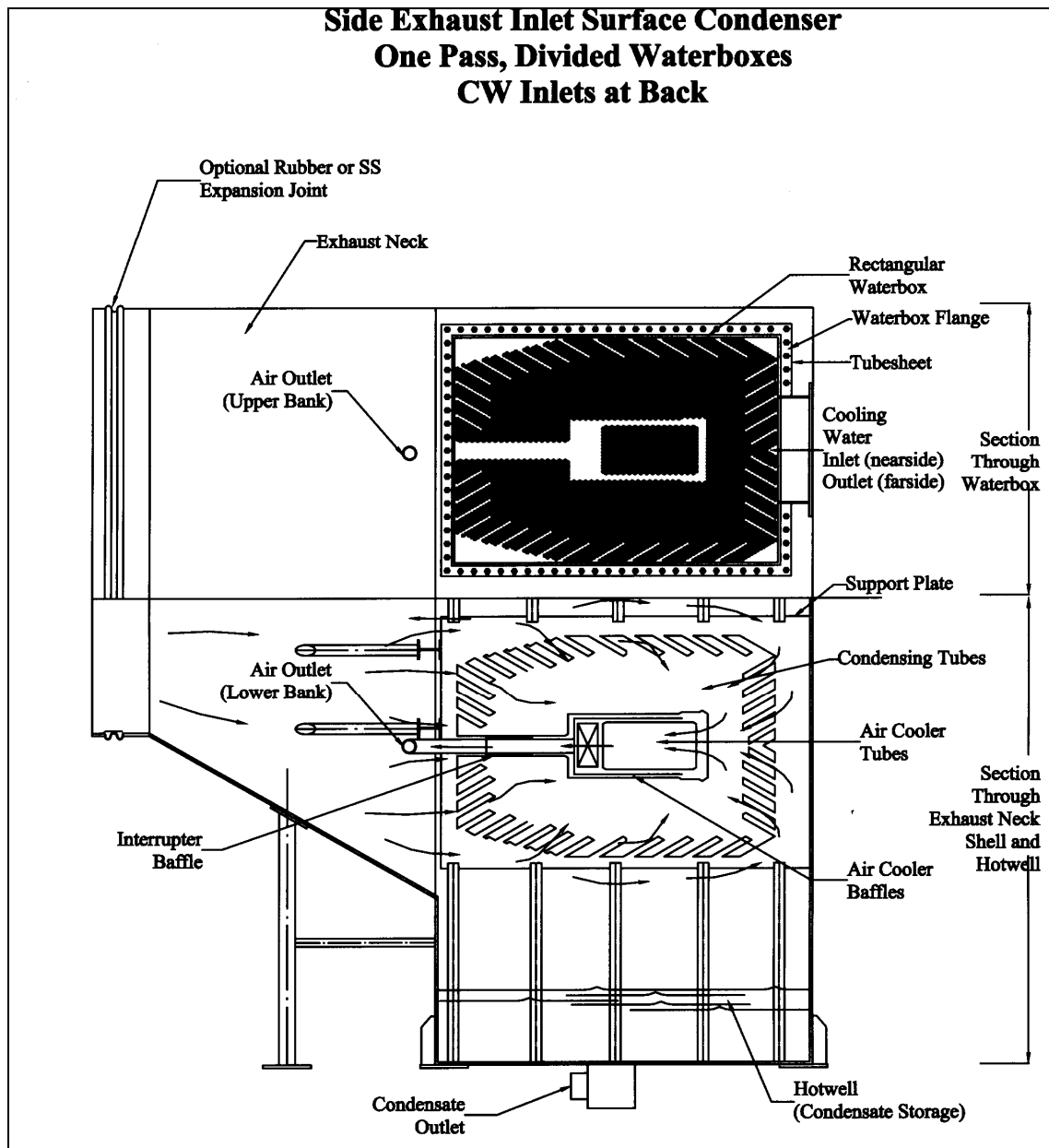
- (1) sumidero con tres conexiones de salida de condensados de 14” cada una con una malla antitorbellino.

- (1) cuello del condensador con junta de expansión de acero inoxidable (multifuelle de calidad SA 240 tp 316) y brida de unión para la conexión del condensador con el cuello de turbina. Se suministrará en una pieza. Se incluye una brida ciega de chapa de acero al carbono para aislar el condensador de la turbina durante la prueba de estanqueidad.

- (1) Cuello del condensador con una puerta de acceso de 30”. Se suministrará en dos mitades con todas sus conexiones montadas. Se incluyen tuberías de descarga de los bypass de la turbina de vapor y un sistema de cortina de agua que protegerá los internos de la turbina y del condensador al operar en modo “*by-pass*”. También se instalará un sistema interno de desgasificación del “*make-up*” (*Agua de aporte*).
 - (2) tuberías de descarga en el condensador para *by-pass* (HP) de 20”
 - (2) tuberías de descarga en el condensador para *by-pass* (LP) de 14”
 - (1) Válvula rompedora de vacío de 4” con actuador neumático y pilotada con válvula de solenoide (230 V / AC) .

- Además se ha suministrado los siguientes accesorios para mantenimiento y puesta en marcha:
 - (1) Juego de juntas de repuesto para las puertas de acceso.
 - (1) Juego de juntas de repuesto para las bridas de las cajas de agua.
 - (54) Tapones para condenar tubos con fugas o dañados .

El tipo de agua de circulación es agua de mar. En la Figura 7-1 se presenta una sección típica de este tipo de condensadores axiales.



Fuente: Foster Wheeler Energía

Figura 7-1: Sección típica condensador axial

7.3.2 Fundaciones

Las fundaciones del condensador deben tener la resistencia suficiente para soportar adecuadamente las cargas que se indican en para mantener un soporte rígido del

condensador para su peso máximo y el alineado correcto con la turbina. El peso máximo corresponde al peso del condensador completamente lleno de agua más el peso de los equipos que puede estar soportando. Además, si es necesario, la base se diseñará para soportar las fuerzas sísmicas.

El sistema de soporte / anclaje del condensador consta de:

- Un punto fijo, situado en el centro del pozo del condensador.
- Cuatro apoyos, que permiten los movimientos laterales debidos a dilatación. Estos apoyos restringen los movimientos verticales del condensador mediante unos pernos roscados con tuerca, pero no los laterales.
- Una chapa lateral, *Flex Plate*, tiene como misión restringir giros del cuerpo del condensador que se pudieran ocasionar como consecuencia de cargas transmitidas por las conexiones.

La dilatación vertical del condensador se controla como hemos indicado mediante una junta de expansión de acero inoxidable.

Por otro lado, para absorber las dilataciones diferenciales entre el cuerpo del condensador (acero al carbono) y el haz tubular (titanio) se ha instalado en el cuello del cuerpo, en el lado de las cajas de agua de retorno, un fuelle / junta de expansión.

Los apoyos del condensador se diseñan con cojinetes deslizantes de teflón en el suelo, para permitir las dilataciones horizontales. Los pernos de sujeción se colocan con tuercas que deberán ser apretadas a mano y bloqueadas para prevenir que se suelten o se aflojen durante el funcionamiento.

7.4 DESCRIPCIÓN DE LAS PARTES DEL CONDENSADOR

El condensador consta de diez partes bien diferenciadas, cuyas características, importancia y función pasamos a describir y definir a continuación.

7.4.1 Pozo de Condensados

El pozo de condensados ocupa toda la longitud y anchura del cuerpo. El volumen de almacenamiento se dimensiona en función de lo especificado por el cliente en este caso

el volumen de almacenamiento de condensado es $46,60 \text{ m}^3$ entre el alto nivel y el bajo nivel. Interiormente el pozo esta soportado por arriostrados tanto oblicuos, para rigidizar las paredes, como los verticales, para soportar la chapa del suelo del pozo, estos arriostrados verticales van soldados a las placas soporte. En la zona más baja del pozo de condensados que se extiende bajo todo el cuerpo, se localiza el sumidero del condensador, que agrupa 3 conexiones de salida de condensado de 14" de diámetro, una malla antitorbellino y un anillo antisuciedad en cada una.

En el interior también se instala un chapa de partición, para provocar que el recorrido del agua de condensado sea el mayor posible, con el fin de desgasificar en todo lo posible en el agua de condensado.

El pozo además se suministra con el sistema de calentamiento. Las conexiones suministradas se encuentran recogidas en la lista de conexiones y en el plano de dimensiones generales del condensador. En la Figura 7-2 se observa un momento de la fabricación del pozo.



Figura 7-2: Pozo de condensados

7.4.2 Cuerpo del Condensador

La parte principal del condensador es el cuerpo, que protege los haces tubulares del condensador. Los internos del cuerpo incluyen las placas soporte, los baffles de la zona de incondensables, refuerzos / arriostrados internos, bridas y juntas de expansión (en este condensador únicamente en el lado de retorno) entre el cuello de la carcasa y la placa tubular.

Los cuerpos se forman soldando secciones. El cuerpo del condensador se diseña con una corrosión admisible de 0,8 mm. También se diseñan para una presión diferencial entre presión interna y presión externa de 1,034 bar. La condición extrema es el vacío interior en operación, o la inundación realizada durante la prueba de estanqueidad. En la Figura 7-3 se presentan los haces tubulares que conforman el cuerpo, en la fase final de su fabricación.



Figura 7-3: Banco condensador

La transición de la placa tubular al cuerpo del condensador se realiza mediante el cuello del cuerpo (ver Figura 7-4). En este condensador, el cuerpo va soldado a la placa tubular, en vez de embridado, al ser la placa tubular de acero al carbono plaqueada con titanio.

7.4.3 Placas tubulares

Las placas tubulares se fabrican de chapa laminada de acero al carbono plaqueada con Titanio. El espesor de la placa tubular se selecciona con las consideraciones oportunas de la presión de diseño del lado tubos, propiedades del material de la placa tubular, la disposición de la placa tubular, diámetro de los tubos y galga/espesor de estos. Las placas tubulares se diseñan y se disponen para proporcionar la menor velocidad posible del vapor a través de los tubos. La distribución de los tubos permite una pérdida de carga uniforme, a medida que el vapor circunda los tubos y atraviesa el centro de haz tubular.

Los agujeros se taladran en la placa tubular, con un acabado de 250 R.M.S. Las tolerancias de los agujeros cumplen las normas establecidas por el HEI y los códigos de diseño/fabricación de Foster Wheeler. Los agujeros de entrada y de salida son rectos.

En la figura 7-4 se puede ver una placa tubular del condensador, en esta se observa que la placa tubular no es partida, debido que existe un solo paso del agua de circulación a través de los tubos del condensador, en la periferia se encuentran los taladros correspondientes a la brida de la caja de agua.

Los pasillos que se observan se diseñan para que la velocidad del vapor sea la menor posible al final de dichos pasillos. Además la velocidad al final de los pasillos debe ser la misma en todos ellos, para la mejor distribución del vapor.

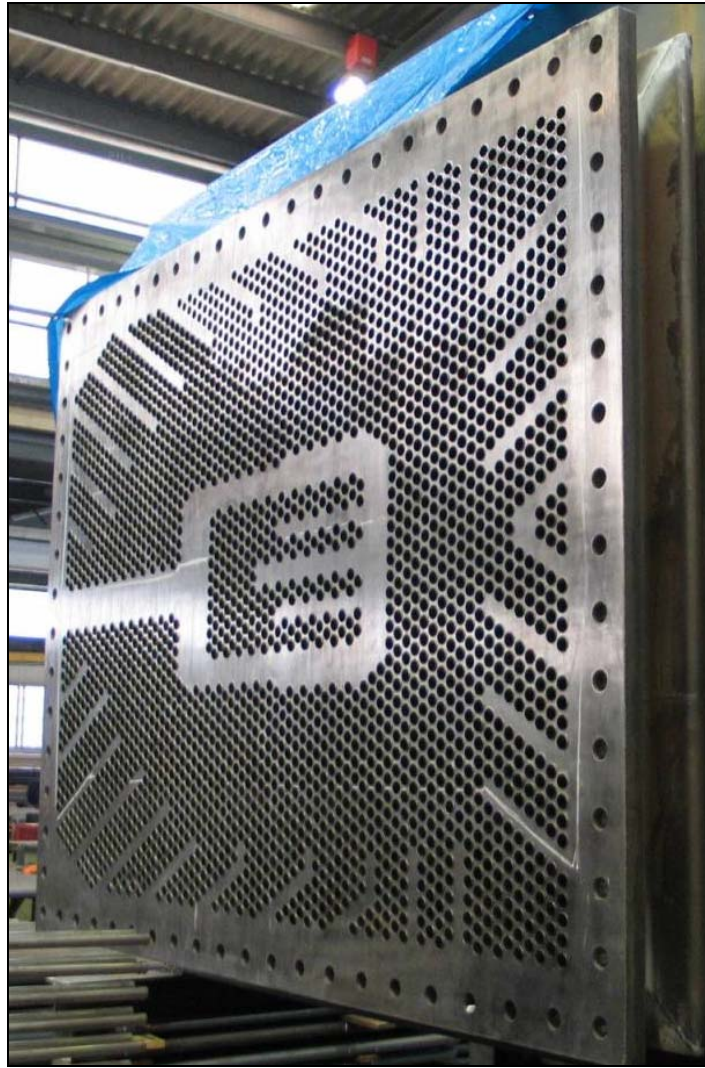


Figura 7-4: Placa tubular

7.4.4 Placas soporte

Las placas soporte proporcionan un apoyo para los tubos del condensador y actúan como arriostramiento interno para el cuerpo. Están simétricamente espaciadas y en un número suficiente para eliminar los problemas de vibración que pudiesen existir. Hay 24 chapas soporte en el interior del condensador, 11 por cada haz.

Todos los agujeros se taladran hasta conseguir la tolerancia adecuada, eliminando las rebabas, para permitir una instalación sencilla de los tubos y el libre movimiento

longitudinal. Las chapas soporte se sueldan a la chapa del cuerpo y están arriostradas lateral y longitudinalmente, para evitar su deformación.

Los baffles que se sitúan en el interior del condensador, están soldados entre placas soporte y tienen como misión aislar la zona de incondensables y canalizar éstos hacia sus tuberías de descarga. Los baffles se colocan con cuidado, para prevenir la erosión y corrosión de los tubos, debidas a los gases provenientes del vapor de escape. En la sección central del haz tubular, existe un baffle invertido, en forma de U, el cual se extiende a lo largo de cada haz tubular y funciona como zona de enfriamiento de gases.

La función de la zona de enfriamiento de gases es enfriar los gases no condensables y de esta manera reducir su volumen al máximo antes de que sean extraídos por el equipo de eliminación de aire.

En la figura 7-5 se presenta una fase del montaje de las placas soporte con los baffles en los talleres.



Figura 7-5: Placas Soporte

7.4.5 Tubos

La longitud efectiva de los tubos entre placas tubulares es de 7 212 mm y la longitud total es de 7 308 mm. Hay un total de 4 834 tubos en la zona de condensación (478 de estos tubos son de 0,71 mm de espesor nominal que corresponden a los tubos de impacto el resto de tubos son de 0,55 mm de espesor nominal) y 372 tubos en la zona de enfriamiento de gases por haz tubular. Estos tubos se distribuyen en dos haces tubulares separados, 2231 tubos cada haz. Los tubos se expansionan y se sueldan con soldadura de sellado en ambos extremos además se instalan con 38 mm de pendiente para permitir su drenaje.

El material de los tubos tanto en la zona de incondensables como en la zona de condensación y en la periferia (tubos de impacto) es titanio de calidad SB-338 Gr.2.

El haz debe ser diseñado para que las pérdidas de carga del tubo de vapor sean lo más pequeñas posible, para conseguir este resultado los tubos están dispuestos de tal forma que dejen amplios espacios por los que el vapor encuentre acceso a todas las partes del haz.

La trayectoria del agua condensada debe asegurarse de manera que el agua encuentre lo más rápidamente posible la parte baja del condensador, inundando el mínimo número de tubos que encuentra en su recorrido, con el fin de reducir la película de agua que se forma al exterior de éstos. Esta película de agua presentará mayor resistencia al intercambio de vapor entre el vapor y el agua de circulación, cuanto mayor sea su espesor. Se puede utilizar la disposición Ginabat que consiste en disponer los tubos al tresbolillo (ver figura 7-6). El agua que cae de un tubo entra en contacto tangencialmente al tubo situado debajo del primero, la cuarta parte de la superficie exterior del tubo queda “mojada” por el agua caída del tubo superior lo que da un espesor de película reducido.

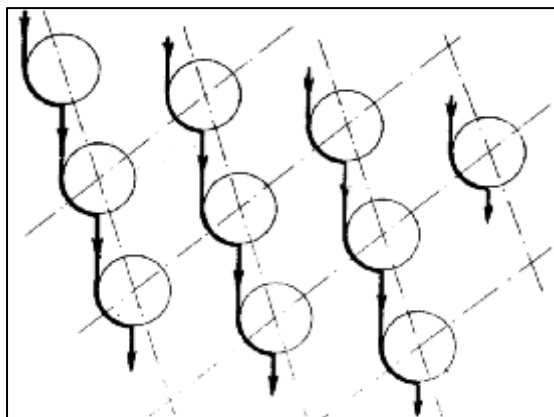


Figura 7-6: Disposición de los tubos en el haz

Los tubos del condensador de las turbinas modernas son muy largos, puede llegarse a alcanzar los diez metros. Estas longitudes implican diferentes apoyos a lo largo de toda su longitud, estos soportes los llamaremos separadores.

7.4.6 Pantalla de impacto

El condensador lleva instalada delante de los haces tubulares, una parrilla de redondos de sacrificio de acero al carbono. Esta parrilla tiene como misión proteger los tubos más próximos a la descarga del vapor del haz tubular de eventuales impactos o proyecciones directas de gotas de agua. La formación de las gotas de agua esta motivada por condensaciones producidas en las líneas conectadas al condensador, en especial las líneas de descarga de by-pass, flujos de agua incontrolados y por la calidad del vapor de escape de turbina en transitorios. En la Figura 7-7 se muestra un detalle de la instalación de esta barrera protectora.



Figura 7-7: Pantalla de impacto

7.4.7 Cuello del condensador

El cuello de extracción une la turbina y el cuerpo del condensador. Tiene unos soportes que proporcionan el arriostramiento necesario para soportar el vacío total y presión

interior durante el funcionamiento a plena carga del condensador. El arriostramiento se diseña para interferir lo menos posible con el flujo de vapor proveniente de la turbina, y para que se cumplan las condiciones impuestas por el HEI, con el fin, que las paredes del cuello soporten los esfuerzos existentes, para el diseño del arriostramiento se tiene en cuenta el sobre-espesor de corrosión, que para este condensador es de 0,8 mm para el cuello.

En el cuello del condensador se encuentran la mayor parte de las conexiones de vapor del condensador, siendo las más importantes los By-Passes.

El cuello dispone de una boca de hombre de 30" de apertura rápida. Así mismo, dispone de los internos de las conexiones y sus soportes para los bypass, el sistema de cortina de agua o "*Fog Spray*" y los internos correspondientes a las diferentes conexiones que se ubican en esta parte del condensador.

7.4.8 Tubería de descarga de By-Pass (By-Pass turbina)

En los condensadores es habitual disponer de medios para que la planta pueda recuperar el vapor de by-pass de turbina durante el arranque, parada, casos de baja carga o disparos de emergencia. El interno del condensador (tubería perforada) se diseña para provocar el cambio de las condiciones termodinámicas del vapor a su entrada en el condensador, hasta unas condiciones compatibles con las condiciones de vacío reinantes en el interior del condensador además de facilitar/permitir la expansión del vapor, sin causar ningún daño térmico (físico) a ningún interno del condensador, ni a la sección de menor presión de la turbina.

Las condiciones del vapor a la llegada al condensador (a la pared), no deben superar las condiciones de diseño de dicha conexión, lo que se consigue reduciendo la presión y atemperando el vapor antes de su llegada al condensador. Estos límites termodinámicos evitan grandes saltos (aumentos) de temperatura, que pueden dañar la turbina o el condensador.

El vapor de by-pass penetra al condensador a través del cuello y se conduce a través de una tubería a un punto donde se reduce su presión (dump-tube), situado sobre los haces tubulares, para distribuir con eficacia el flujo de vapor de alta energía.

En los condensadores de vapor es aconsejable realizar las acciones necesarias para reducir el riesgo de erosión en los tubos de la periferia del haz tubular. La erosión es normalmente generada por el efecto “water hammer”. Este fenómeno tiene lugar cuando gotas de agua son arrastradas por un flujo de vapor y golpean los tubos del condensador. Estos van perdiendo espesor y finalmente rompen.

En un condensador, este fenómeno se produce en zonas con alta velocidad de vapor y con presencia de gotas de agua.

Las tuberías de descarga de los by-pass con el objeto de garantizar una distribución uniforme del caudal de vapor en toda la superficie del condensador. Esto se obtiene con el diseño de los agujeros de la tubería de descarga (número, distribución y dirección) distribuidos a lo largo de la longitud de dicha tubería.

Además el ángulo que define la situación de los orificios está dirigido hacia el espacio existente entre los haces de tubos. De esta forma el caudal de vapor del by-pass descarga en el condensador con una trayectoria inclinada, evitando, arrastres de gotas de agua en una trayectoria vertical excepto en los espacios existentes entre haces ya que en ese espacio no hay tubos del haz tubular que fuese necesario proteger.

Con la instalación de una pantalla de protección formada por una fila de tubos o redondos macizos se asegura la protección del haz tubular y de esta forma las gotas de agua que fuesen arrastradas con una trayectoria inclinada golpearían con la pantalla de protección en lugar de con los haces tubulares.

7.4.9 Junta de Expansión

Entre el cuello del condensador, y el cuello de descarga de vapor de la turbina, se instala la junta de expansión del condensador. La junta de expansión es un fuelle de acero inoxidable SA 240 Tp 316 de 2mm de espesor. Esta junta de expansión está diseñada para absorber los movimientos axiales diferenciales entre el condensador y la turbina, debidos a dilataciones térmicas. En la Figura 7-8 puede verse la junta de expansión del condensador ya concluida su fabricación.

Las Juntas de expansión necesitan para su correcto funcionamiento una serie de precauciones que alargan su vida útil, convirtiéndolos así en elementos casi exentos de mantenimiento. Las precauciones más importantes a tener en cuenta son:

- **Instalación:**

- Inspeccionar posibles daños ocurridos durante el transporte.
- Evitar dañar el fuelle con golpes que puedan producir abolladuras en las ondas, proyecciones de soldadura, escorias, etc..
- Evitar que el Compensador de Dilatación realice sus movimientos con los extremos desalineados o fuera de los límites establecidos en el momento de su suministro, en cuanto a la magnitud del movimiento, ángulo máximo etc..
- Los pre-estirados se realizarán de acuerdo con los límites establecidos, que incluyen la dirección y magnitud del movimiento.
- Utilizar únicamente los puntos de izado designados.
- El Compensador de Dilatación se colocará de acuerdo con la dirección del flujo del fluido, en relación con la disposición de la camisa interior.
- Retirar todos los equipos y soportes (pintados de color amarillo) después de que el montaje se ha realizado completamente y antes de la prueba de presión del equipo.
- Nunca exceder la presión de prueba.

- Cuando exista alguna duda sobre el procedimiento de instalación, se aconseja contactar con el fabricante antes de iniciar el montaje.

- **Inspecciones antes de realizar la prueba de presión:**
 - Verificar visualmente que el compesador de dilatación está colocado en el lugar apropiado.
 - Comprobar que el compesador de dilatación está adecuadamente colocado con respecto a la dirección del fluido.
 - Verificar que todos los soportes de transporte han sido retirados.
 - Verificar que los anclajes y guías están instalados según lo proyectado.
 - Comprobar que no existen desalineamientos en el Compensador de Dilatación.

- **Inspecciones durante e inmediatamente después de la prueba presión:**
 - Comprobar que no existen fugas o pérdidas de presión.
 - Comprobar la no-existencia de inestabilidad en los fuelles.
 - Comprobar la solidez y resistencia de los anclajes, guías, compensadores y demás componentes del sistema.

- **Inspecciones periódicas:**
 - Verificar visualmente que el Compensador de dilatación absorbe los movimientos para los cuales fue diseñado.
 - Comprobar que no existen vibraciones inesperadas.
 - Comprobar que no existen señales de corrosión externa, holguras en los elementos mecánicos (tornillos, tirantes, etc.) ni deterioro de los anclajes, guías, etc.

- Verificar que no existen acumulaciones de polvo u otras partículas entre las ondas del Compensador que puedan limitar su movimiento.



Figura 7-8: Junta de expansión

7.4.10 Cajas de Agua

Las cajas de agua del condensador se fabrican en chapa de SA-516 Gr 70. Estas cajas se diseñan para una presión de 4 bar(g) y una presión de prueba de 6 bar(g). El espesor del material incluye una corrosión admisible de 1,5 mm.

Las cajas de agua están atornilladas a las placas tubulares (ver Figura 7-9). Cada caja de agua dispone de venteos de 3" de diámetro para las cajas de agua de entrada y de 3" para las cajas de agua de salida. Las cajas de agua disponen también de drenajes de 2" de diámetro por caja, rejillas de seguridad, y bocas de hombre de apertura rápida para acceder a toda la superficie de la placa tubular.

El espesor de las cajas de agua es de 16 mm para la chapa virolada y de 22 mm para las chapas, este espesor se calcula para que las cajas de soporten la presión de la prueba hidrostática

El recubrimiento de las cajas de agua se realiza dependiendo el agua de circulación, para este caso como el agua de circulación es agua de mar, el recubrimiento es de 5 mm de neopreno.

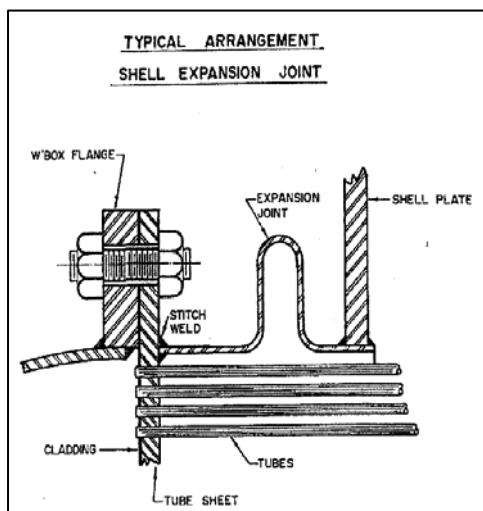


Figura 7-9: Brida cajas de agua

Las conexiones de entrada y salida de agua de circulación tienen un diámetro de 1.372 mm (54'') y son conexiones embridadas según norma AWWA, que determina el número de pernos, diámetro de la brida, espesor de la brida.

En la Figura 7-10 se presenta un momento de la fase final de la fabricación de las cajas de agua de entrada-salida.



Figura: 7-10: Cajas de agua

8 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

8.1 DESCRIPCIÓN DEL CIRCUITO DE CIRCULACIÓN

Si el caudal de agua de circulación es suficiente el circuito comprende, como podemos ver en la figura 8-1, los siguientes elementos:

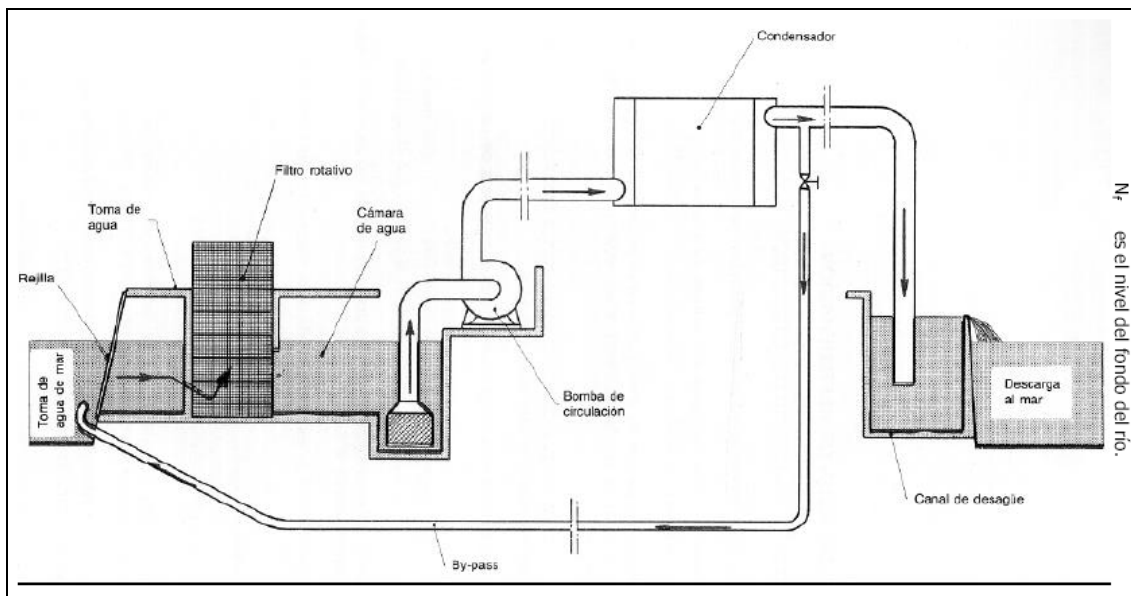


Figura 8-1: Circuito agua de circulación

- Una obra de toma de agua. Dispuesta a la entrada de la toma de agua, para retener los cuerpos gruesos flotantes y los trozos de hielo durante los inviernos fríos.
- Una rejilla rotativa. De paneles filtrantes, que retienen los cuerpos de pequeñas dimensiones introducidos con el agua de circulación; hojas, algas, objetos diversos que obstruirían los tubos del condensador.
- Un conducto de traída de agua. Que puede ser un canal a cielo abierto, una galería subterránea, una tubería a presión, o una tubería en sifón.
- Un conducto de contorneamiento (By-pass) normalmente cerrado, cuya misión es de reenviar a la toma de agua, el agua que se ha calentado a su paso por el condensador.

- Una o varias bombas de circulación. Que aspiren el agua para descargarla al condensador.
- Un conducto de descarga de agua. Que pueda tener diversas formas como el conducto de traída de agua.
- Una obra de salida de agua.

8.2 CIRCUITOS AGUA DE CIRCULACIÓN

La elección del lugar de implantación de una central depende de numerosos imperativos.

Uno de los más importantes es el de disponer de un caudal de agua de circulación suficiente para asegurar la condensación del vapor de escape de los grupos turboalternadores.

El problema es particularmente agudo en las regiones que disponen de ríos de pequeño caudal y se generaliza con el aumento de la industria.

8.2.1 Circuito Abierto

Éste es actualmente el más corriente y el más simple (ver figura 8-2).

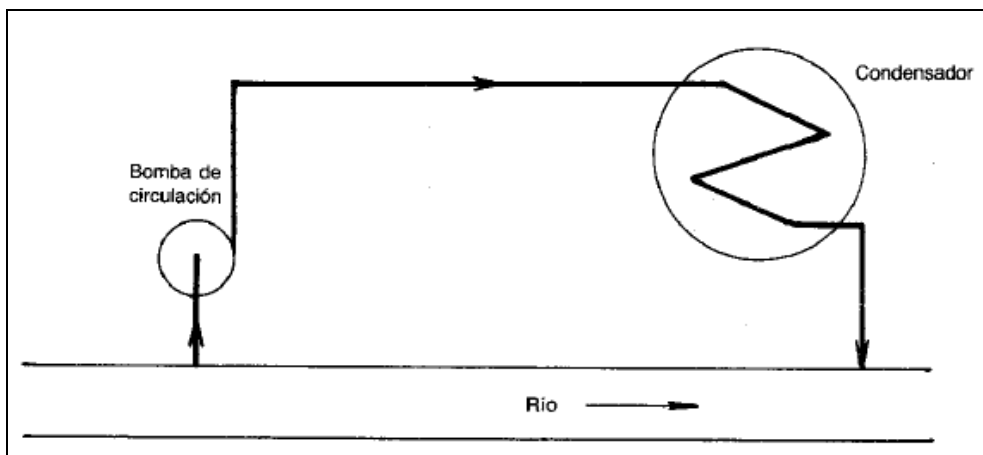


Figura 8-2: Circuito abierto

El agua bombeada del mar atraviesa el condensador y se vuelve a descargar al mar a una distancia suficiente para evitar recirculaciones de agua caliente. Este circuito es utilizado mientras el caudal del agua sea superior o al menos igual del caudal de agua circulación.

Este tipo de circuito es el utilizado habitualmente, cuando el agua de refrigeración es agua de mar, ya que se puede disponer del caudal suficiente como para permitir toda la transferencia de calor en el condensador.

8.2.2 Circuito Semiabierto

El agua bombeada desde el mar o el río, como el tipo abierto, atraviesa el condensador, parte va al río / mar y parte se refrigera en el refrigerante atmosférico (Ver figura 8-3). Este circuito es el utilizado cuando todo el caudal del río es inferior al caudal de agua de circulación.

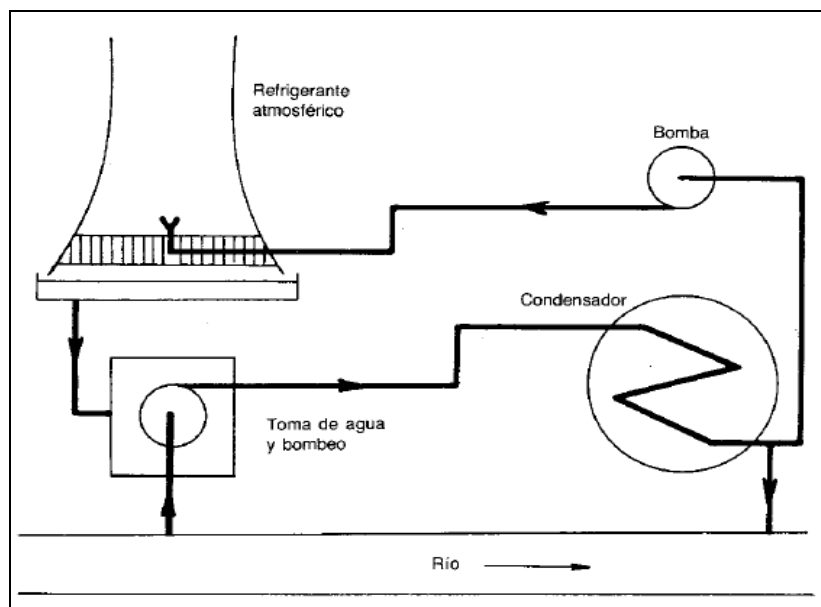


Figura 8-3: Circuito semiabierto

8.2.3 Circuito Cerrado

El agua bombeada desde el estanque del refrigerante atmosférico atraviesa el condensador, se refrigera en el refrigerante atmosférico y retorna al estanque del refrigerante. (Ver figura 8-4).

Este circuito es utilizado cuando el caudal del río es muy débil o inexistente.

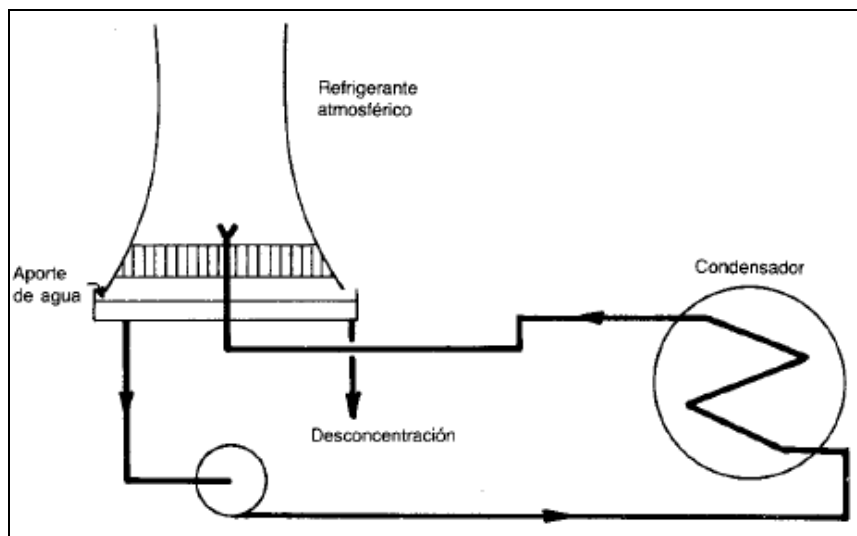


Figura 8-4: Circuito Cerrado

8.3 REFRIGERANTES DE AGUA DE CIRCULACIÓN

Cuando la central no está en la proximidad de un río donde el caudal de agua sea suficiente para asegurar la condensación del vapor de escape de turbina o es traída para refrigerar todo o parte del agua de circulación que es calentado en el curso de su paso por los haces tubulares del condensador.

El agua a refrigerar se toma a la salida del condensador, pasa a un refrigerante, a la salida del refrigerante el agua refrigerada es devuelta a la entrada del condensador. El agua recorre, pues, un circuito cerrado.

Cuando se debe refrigerar el agua de circulación el rendimiento de la central disminuye por dos razones:

- La temperatura del agua a la salida del refrigerante es siempre superior a la temperatura del agua que podía ser suministrada por un río. Teniendo como

resultado una temperatura más elevada en el escape de turbina, por lo tanto una bajada en el rendimiento térmico.

- Las bombas deben ser utilizadas para aspirar el agua de circulación salida de condensador para enviarlas al refrigerante.

El consumo de estas bombas viene a aumentar la energía dispuesta para los auxiliares de la central, de donde resulta una disminución del rendimiento eléctrico de la central.

Los refrigerantes son sólo utilizados en las centrales próximas a las minas. Estas centrales queman por lo general carbón de mala calidad que no puede ser comercializado. A pesar del bajo rendimiento de estas centrales queda compensado por la reducción tan importante de los gastos de transporte de carbón.

La bajada de temperatura del agua en un refrigerante se obtiene por la transmisión del calor de las formas siguientes:

- evaporación parcial
- convección.

8.3.1 Funcionamiento de la Refrigeración Atmosférica

Un refrigerante atmosférico es un cambiador de calor en el cual el agua se refrigera al contacto del aire ambiente o atmosférico.

El principio fundamental es el siguiente:

El agua del condensador está considerada como la fuente caliente, siendo la fuente fría el aire atmosférico. El problema consiste en hacer pasar la mayor cantidad de calor de la fuente caliente a la fría para obtener la temperatura de agua lo más baja posible a la entrada del condensador. Con este objeto se utiliza:

- el cambio de calor por convección.
- la evaporación de una cierta cantidad de agua en el aire.

La convección es el modo de transmisión de calor resultante del contacto de un fluido en movimiento con un cuerpo de temperatura diferente. El cuerpo más caliente cede el calor al cuerpo más frío. En los sobrecalentadores a convección, los recalentadores de aire y el condensador, la transmisión se hace a través del metal de los tubos. En el refrigerante atmosférico la transmisión se efectúa directamente entre el agua y el aire.

La evaporación es el paso del estado líquido al estado gaseoso por formación progresiva de vapor en la superficie del líquido. Esta transformación del líquido en fase gaseosa se acompaña de un enfriamiento, correspondiente al calor latente del líquido evaporado, sin que ninguna fuente suministre esta cantidad de calor necesaria a la evaporación, éste es el caso de los refrigerantes atmosféricos.

- **Aplicación al refrigerante atmosférico**

El cambio máximo calorífico por convección, se obtiene mediante:

- una gran superficie de contacto “aire-agua”.
- una circulación relativa de “aire-agua” importante.

La gran superficie de contacto es obtenida, sea pulverizando el agua en gotas tan pequeñas como sea posible, sea transformando el agua en películas tan delgadas como sea posible. Siendo empleadas importantes cantidades de agua a tratar, la circulación puede efectuarse económicamente utilizando la caída por gravedad.

La circulación del aire debe en consecuencia efectuarse, de abajo hacia arriba o transversalmente. Dos posibilidades se presentan para mover el aire:

- el tiro inducido por medio de un moto-ventilador
- el tiro natural.

El tiro inducido permite reducir el volumen del refrigerante y gastos de emplazamiento, pero por el contrario necesita una energía de ventilación importante y costosa.

El tiro natural es el más utilizado porque si los gastos de emplazamiento son notablemente más importantes, no necesita otra energía para la circulación del aire. Recordemos que el tiro natural es producido por la diferencia de masa específica existente entre la mezcla aire-vahos y el aire ambiente. Es tanto más importante cuanto la altura de la chimenea es mayor.

Es la formación de vapor en la superficie del líquido, con producción de frío, sin necesidad de adoptar calor exterior. El aporte de calor no existe en nuestro caso y la superficie de contacto líquido-aire así como la circulación relativa agua-aire, son llevadas al máximo para acrecentar la convección, la evaporación y la producción de frío. Puntos característicos:

- Contacto muy importante aire-agua (películas, gotitas).
- Tiro importante (chimenea alta o tiro inducido).

8.3.2 Torres de Refrigeración

Los principales elementos son:

- La chimenea.
- La torre elevada de agua, o llegada del agua caliente y de donde parten las tuberías de distribución.
- El dispositivo de rociado y las tomas de aire.
- El depósito de recogida de agua fría.

La chimenea tiene la forma de un sólido de revolución de doble curvatura adquiriendo aproximadamente la forma de un hiperboloide. Esta forma ha sido adoptada por consideraciones de construcción y de coste de fabricación.

Para un grupo de 125 MW, la chimenea tiene un diámetro inferior de 60 metros y una altura de 80 a 90 metros; estas dimensiones para un grupo de 250 MW son 81 metros y 110 metros respectivamente.

La torre elevada de agua, es un recipiente cilíndrico o paralelepípedo alimentado en agua en su parte inferior. La tubería de llegada de agua caliente es horizontal al nivel del suelo o por encima del suelo después sube verticalmente hacia la torre elevada de agua. De la torre elevada de agua salen en el plano horizontal las tuberías de distribución sea siguiendo dos ejes perpendiculares, sea radialmente.

Estas tuberías, en general de “cemento amianto” están perforadas en la generatriz inferior, dejando escapar el agua ya sea libremente o bien sobre boquillas de dispersión.

En los refrigerantes S.C.A.M. llamados “de corrientes cruzadas”, el aire rige durante la primera parte de un recorrido un trayecto horizontal mientras que la caída de agua es vertical, las tuberías de repartición alimentan además un estanque colocado en la periferia del refrigerante. Este estanque alimenta a su torre por pulverizadores los elementos de rociado exteriores.

Los dispositivos de rociado y tomas de aire son de dos tipos:

- De películas de agua en las torres de refrigeración HAMON llamados “del tipo de rociado puro y dispersión situada por encima de las entradas de aire”. (Ver figura 8-5)

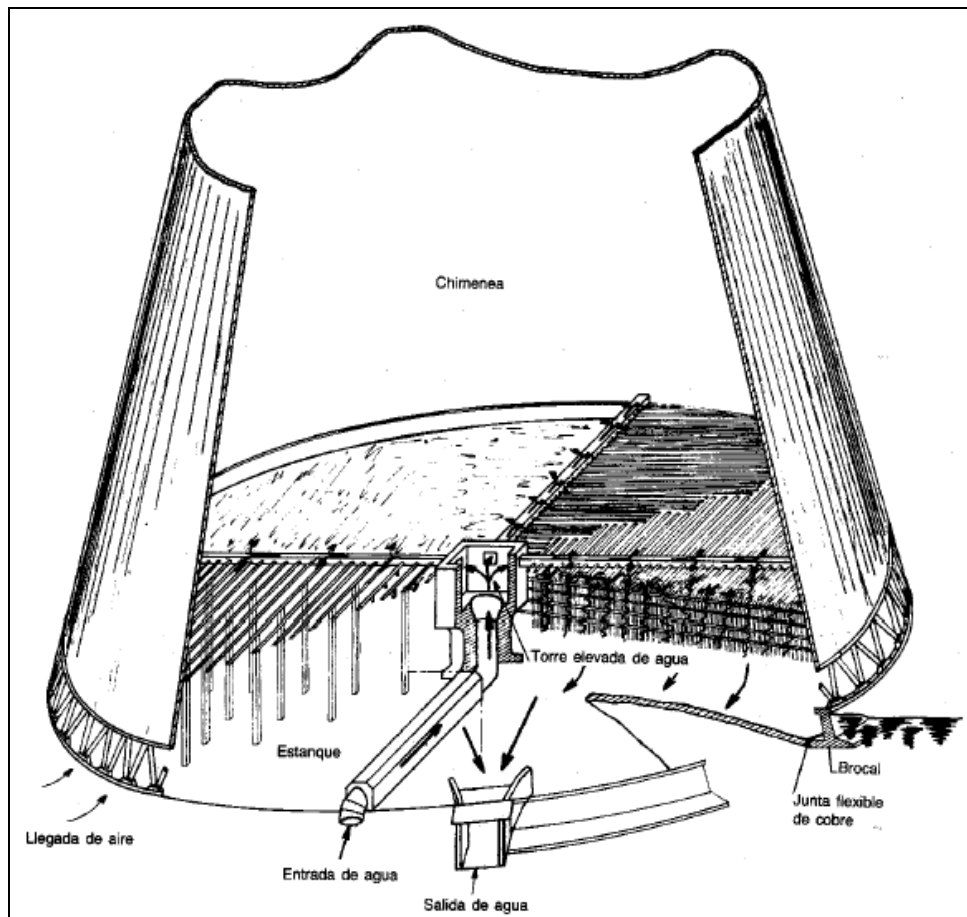


Figura 8-5: Torre de Refrigeración “Hammon”

Las gotas de agua que salen de las boquillas de dispersión se reparten sobre las placas de “amianto cemento” colocadas verticalmente, formando sobre estas placas la películas de agua descendentes.

El aire pasa verticalmente entre las placas por el efecto de tiro natural.

La torre de refrigeración HAMON es un refrigerante a contracorriente: en una sección cilíndrica cualquiera de la torre, la temperatura del agua disminuye gradualmente de arriba a abajo, mientras que la humedad y la temperatura del aire suben continuamente de abajo a arriba hasta su saturación.

- De gotitas en las torres de refrigeración S.C.A.M. llamadas “de corrientes cruzadas”. (Ver figura 8-6).

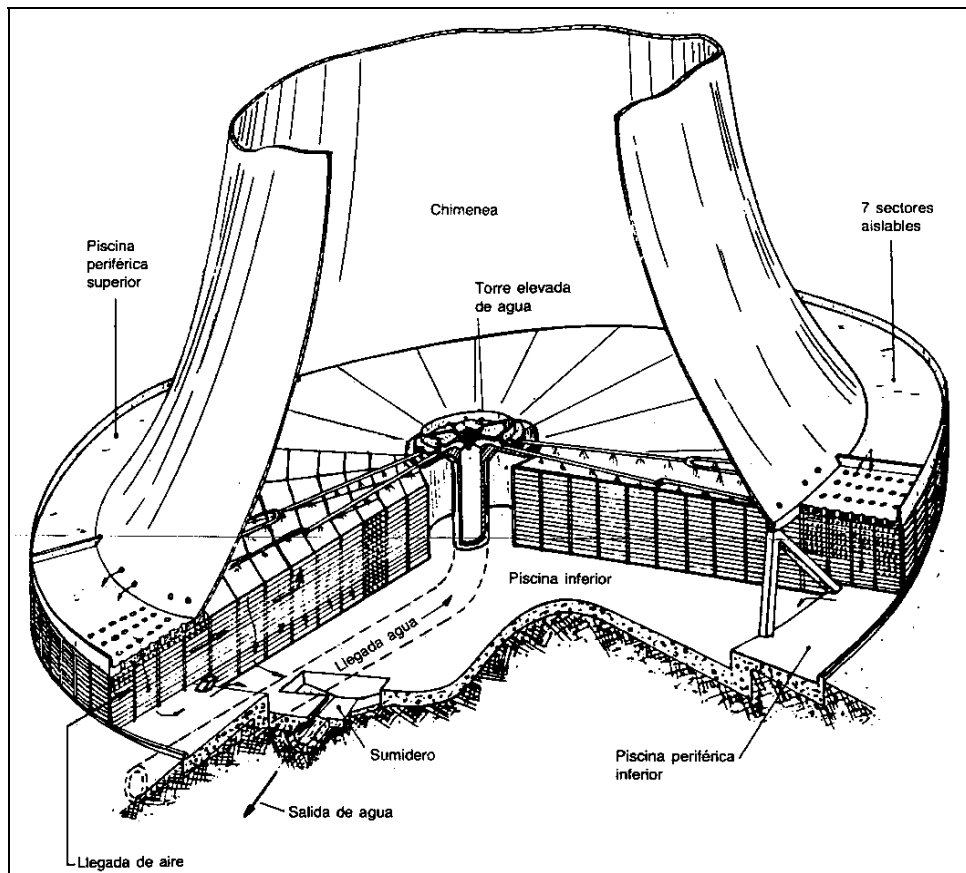


Figura 8-6: Torre de Refrigeración "Scam"

Las gotas de agua caen sobre láminas de "amianto-cemento" encorvadas hacia abajo, y dispuestas en horizontal. La ligera curvatura de los tramos de estas láminas impide la formación de una película perjudicial para la formación de finas gotas.

Durante su caída por gravedad, estas gotas se convierten sucesivamente en otras, después se rompen de nuevo hasta su caída en el estanque. Bajo el efecto de tiro natural, el aire ambiente pasa horizontalmente, después sigue una curva ascendente del exterior hacia la chimenea.

El agua es refrigerada al máximo en los elementos de la periferia de la dispersión, mientras que el centro se comporta como un refrigerante a contracorriente.

El aire es saturado por encima de la dispersión, pero la temperatura del agua que sale de la dispersión es variable, según la distancia del punto considerado

al centro del refrigerante. En la periferia, es igual a la temperatura del aire entrante. Esto explica la sensibilidad de estos refrigerantes al hielo.

El estanque de agua fría se encuentra situado en la base del aparato recibe el agua fría y constituye un almacenamiento de agua indispensable para paliar los azares de explotación y para facilitar las regulaciones químicas.

La toma de agua fría se coloca al aire libre en las torres de refrigeración “*Hamon*” y sumergida en las torres de refrigeración “*Scam*”. Además, hay una llegada de agua de aporte y tomas de agua de condensador y de vaciado.

8.4 TRATAMIENTO DEL AGUA DE CIRCULACIÓN

Cuando el condensador se ensucia, el intercambio de calor entre el vapor de escape de la turbina y el agua que recorre los haces tubulares del condensador empeora, ocasionando que la temperatura y la presión aumenten en el condensador y el vacío disminuya. El resultado es una disminución del rendimiento térmico de la turbina. El vacío en el condensador es un factor muy importante, a vigilar constantemente.

El ensuciamiento del condensador es provocado por las dos causas principales siguientes:

- Desarrollo de microorganismos en el interior de los tubos. Se presenta bajo la forma de materia gelatinosa. Estos depósitos son más abundantes cuando el agua está polucionada, por ejemplo, por la evacuación de sumideros y también en verano cuando la temperatura del agua es más elevada.
- Presencia de materias inorgánicas, tierra, arena, contenida en el agua. Estas materias se depositan en los tubos, están a menudo envueltas en materias orgánicas en proliferación.

Los depósitos en los tubos del condensador disminuyen cuando la velocidad del agua que la recorre es más elevada. Sin embargo se está obligado a limitar la velocidad, por los siguientes motivos:

- para no alcanzar una potencia muy elevada de la bomba de circulación, su consumo de energía sería inaceptable;
- para no provocar la erosión de los tubos.

Se debe adoptar una velocidad del agua en los tubos entre 1,5 m/s a 2,5 m/s.

Después de una limpieza, el condensador se ensucia lentamente durante un período más o menos largo, a medida que los depósitos adquieren una cierta importancia el ensuciamiento se acelera más rápidamente.

9 INFLUENCIA DEL GRADO DE VACÍO EN EL CONDENSADOR

El rendimiento térmico de una turbina baja cuando el vacío del condensador disminuye.

Consideremos, una turbina alimentada con vapor de las siguientes características:

- Presión 127 bar
- Temperatura 540 °C
- Entalpía 3 450 kJ/kg.

Supongamos que la presión absoluta en el condensador es de 0,035 bar que corresponde al vacío obtenido normalmente, para esta presión la temperatura del vapor al escape de la turbina es de 25,4 °C. La entalpía de vapor a la entrada del condensador es de 2 328 kJ/kg, la cantidad de calor transformado en trabajo por kilogramo de calor expandido será:

$$H = 3\,450 - 2\,328 = 1\,122 \text{ kJ/kg}$$

El rendimiento térmico será:

$$\eta = \frac{1\,122 \times 100}{3\,450} = 32,5 \%$$

Si la presión absoluta en el condensador aumenta hasta un bar, la temperatura de vapor a la entrada del condensador será de 100 °C. La entalpía del vapor después de expandirse en la turbina será ahora de 2 747 kJ/kg. La cantidad de calor transformado en trabajo por kilogramo de vapor será:

$$H = 3\,450 - 2\,747 = 703 \text{ kJ/kg}$$

y el rendimiento térmico:

$$\eta = \frac{703 \times 100}{3450} = 21\%$$

Hemos visto pues que el rendimiento de la turbina cuando la presión del condensador ha variado de 0,035 bar a un bar ha disminuido del 32,5 al 21 %.

De ahí la importancia de diseñar un condensador que en funcionamiento trabaje al vacío requerido por el cliente. Al no cumplir que dicho vacío que en el presente proyecto es 0,0627 bara, el cliente aplicará penalidades por cada milibar superior al vacío garantizado.

Pero no siempre el condensador funciona a vacío requerido, ya que en el condensador se pueden dar diferentes causas, que se detallan a continuación, por las cuales el vacío, sea inferior al garantizado.

9.1 CAUSAS DEL BAJO VACÍO

Hay tres causas principales de bajo vacío en un condensador:

- a) Fugas (entrada) de aire.
- b) Pobre transferencia térmica.
- c) Sistema de vacío (bombas de vacío) defectuoso

9.2 FUGAS

Durante la operación normal a carga de diseño, la masa conjunta de vapor de agua saturado y de incondensables, no debería superar 12,5 SCFM (*“HEI 9th Edition”*) Esta mezcla consiste en 25,5 kg/h de aire seco y 56,06 kg/h de vapor de agua, procedente del condensador. Hay que señalar que la masa de aire seco que se indica, es la máxima aceptable. La masa de aire seco que normalmente se extrae de un buen sistema, no suele superar los 5 SCFM. Aunque las entradas de aire pueden proceder de cualquier parte del sistema y aparecer en cualquier momento, hay que tener presente, que no todas las entradas de gases no condensables al condensador se deben a fallos mecánicos.

Cuando se aprecie un aumento en la lectura del caudal de aire y antes de comenzar a buscar fugas de aire, hay que considerar ampliamente el sistema y descontar la carga de aire que pueden estar suponiendo los residuos volátiles del sistema de tratamiento de agua del ciclo y el gas disuelto o arrastrado por el agua de aportación y por el tanque de condensados. Puede ser necesario un análisis químico del gas que se extrae para poder cuantificar estas aportaciones de incondensables debidas a causas no mecánicas, de las debidas a fugas.

Una vez establecido que se ha roto la estanqueidad del sistema, algunos de los lugares más frecuentes donde aparecen fugas de aire son:

- Problemas en el eje de la bomba de condensados, debido a la pérdida del sello de agua, o a un erosionado del sistema de sellos.
- Bocas de hombre, juntas de tuberías, tapas de filtros, etc., debidos a juntas defectuosas o aplastadas, caras de las juntas erosionadas, desigual apriete de pernos y aflojamiento de los mismos.
- Juntas de los niveles visuales, no sólo en el condensador, sino también del enfriador de drenajes y cualquier otro sistema que trabaje a vacío durante la operación.
- Problemas con los vástagos de las válvulas de las tuberías, debido a prensaestopas no apretados suficientemente o que se hayan desgastado (vástagos o sellos)
- Asientos de válvulas desgastados o bloqueados por suciedades, o mal compensados y también por grietas en el cuerpo de las válvulas.
- Grietas en las soldaduras o en el propio cuerpo del condensador, debidos a esfuerzos transmitidos por las conexiones, o por expansiones diferenciales debidas a vertidos excesivos a través de las paredes.
- Apertura o cierre erróneos de válvulas en momentos indebidos, durante las secuencias de arranque, operación y parada.

Una vez encontrada la fuga, el problema se podría solucionar reapretando, reparando o aplicando compuestos de sellado tales como *Glyptol n° 1210* en las zonas dañadas. La mayor dificultad estriba en localizar con exactitud los lugares puntuales de fuga.

Un método que el personal de mantenimiento de las plantas suele encontrar útil, consiste en utilizar un sistema de detección de gases, tales como freones. A continuación se explican dichos sistemas.

9.3 BAJO INTERCAMBIO DE CALOR

9.3.1 Bajo caudal de agua de circulación

Se detecta por el balance térmico y/o la pérdida de carga entre las cajas de agua de entrada y salida (para el condensador con dos haces en funcionamiento o para un solo haz en funcionamiento), la pérdida de carga entre las cajas de agua de la entrada y salida debe ser 2,55 metros columna de agua de densidad 1028 kg/m^3 .

Una disminución del flujo de agua de circulación puede estar provocada por el taponamiento de tubos (por ejemplo por ensuciamiento, restos de suciedad en las torres de refrigeración (si existen), bolas de limpieza de tubos atascadas, etc), por un funcionamiento anómalo de las bombas de agua de circulación, o por taponamiento parcial de las tuberías de agua de circulación.

9.3.2 Obstrucciones por aire (“*air blanketing*”) del lado tubos

El primer punto que se debe comprobar para resolver este problema de intercambio de calor, es que las cajas de agua se encuentren llenas de agua. Se debe comprobar todo lo indicado en el punto 9.3.1. Cuando aparezcan este tipo de problemas, se detectarán un flujo reducido del agua de circulación debido a que los tubos están bloqueados por aire. Este problema se presenta cuando la acumulación continua de aire en las cajas de agua no se elimina de forma adecuada por la parte superior de éstas.

9.3.3 Temperatura de entrada de agua de circulación, extremadamente alta

Este problema puede aparecer debido a unas condiciones climatológicas extremas (temperatura del mar o del aire), en cuyo caso no se puede resolver, o por un mal

funcionamiento de las torres de refrigeración (si éstas existen) que sí se puede solucionar si estas existen.

9.3.4 Depósitos y limos

El problema aparece cuando hay depósitos de sal, de limos o algas, que crecen a una velocidad superior a la que los sistemas de limpieza, automáticos o no, pueden eliminar.

9.3.5 Partículas de aceite y acumulación de incrustaciones

Aparecen cuando existen películas de aceite o incrustaciones en cualquiera de las superficies de los tubos que no pueden ser eliminados con los sistemas de limpieza de tubos previstos. Se pueden limpiar las superficies exteriores de los tubos (lado cuerpo del condensador) utilizando otras técnicas para eliminar incrustaciones (limpieza química o lanzas de agua).

9.3.6 Desperdicios y escombros

Algunos obstáculos, fundamentalmente chapas o ensuciamiento sobre la superficie de los tubos en el lado cuerpo del condensador, pueden bloquear el acceso del vapor a los tubos más profundos del haz tubular, causando una pérdida de superficie efectiva de intercambio.

9.4 DEFECTOS EN EL SISTEMA DE ELIMINACIÓN DE AIRE

La existencia de daños en las pantallas de eliminación de aire de cada zona o en las tuberías de salida de incondensables del condensador pueden permitir la salida directa del vapor hacia las bombas de vacío y el bloqueo de estas con la consiguiente pérdida de capacidad para mantener el vacío en el cuerpo del condensador. Este tipo de problemas se detectan al notar la línea de succión a las bombas anormalmente caliente.

9.4.1 Funcionamiento incorrecto de las bombas de vacío

Se detecta cerrando la válvula de succión de incondensables del condensador y comprobando el grado de vacío que las bombas alcanzan en estas condiciones. Si la lectura no es la prevista, hay que reparar o comprobar el sistema de vacío.

9.5 LIMPIEZA

Se deben mantener limpios los tubos del condensador para mantener la eficiencia térmica.

El intervalo de tiempo entre las limpiezas del tubo depende completamente de las condiciones del agua de refrigeración. La limpieza se debería llevar a cabo siempre que se observe una disminución del rendimiento.

El sistema de agua de refrigeración debería equiparse con un sistema de limpieza de bolas, y seguir las indicaciones del fabricante para el mantenimiento del sistema y la frecuencia del cambio de las bolas.

También se puede limpiar utilizando una herramienta de limpieza o una lanza de agua para insertar agua a presión por el interior de los tubos. Otro método de limpieza que se puede usar es la introducción de tapones por el interior de los tubos con agua a presión. Dependiendo de la adherida que este la suciedad al interior del tubo se seleccionará el tipo de tapón.

Los equipos que condensan vapor procedente de turbinas, normalmente funcionan durante un largo período sin necesidad de limpiar el lado vapor de los tubos. Sin embargo, si se produce una acumulación de aceite o de suciedad en los tubos, el coeficiente de transferencia de calor disminuirá, reduciendo el vacío en el interior del condensador. La limpieza del lado vapor del condensador, conocida como “*boiling out*”, aliviará esta condición. No se dan recomendaciones específicas porque varía según la naturaleza y el espesor de la capa depositada sobre los tubos. Es recomendable utilizar en el tratamiento de aguas un asesor de limpieza química. El vapor para el “*boiling out*” se puede introducir a través de cualquier conexión conveniente en la envolvente, que esté por debajo de la línea del agua.

Después del “*boiling out*”, el condensador debe limpiarse varias veces con agua fresca. Se deberá utilizar una manguera para eliminar cualquier resto del fondo del pozo de condensados y es recomendable realizar una prueba de estanqueidad antes de poner la unidad en marcha.

10 SISTEMAS PRINCIPALES DEL CONDENSADOR

Los condensadores de superficie necesitan de una serie de sistemas, cada una de ellas con unas funciones bien determinadas, que sirven para extraer o introducir fluidos en el condensador, ya sea aire, vapor o agua.

Los sistemas principales que actúan de manera que el condensador funcione correctamente garantizando las condiciones de operación, son los siguientes:

- Sistema de eliminación de incondensables.
- Sistema vapor de calentamiento “*Sparger Steam*”.
- Aporte agua desmineralizada “*Make-Up*”

10.1 SISTEMAS DE ELIMINACIÓN DE INCONDENSABLES

Los sistemas de eliminación de aire tienen por objeto, extraer de una forma continua la mezcla de aire y vapor no condensado.

Los incondensables se acumulan en la parte central del haz tubular, para ello se diseña un sistema de “baffles” (ver figura 10.1), este sistema está compuesto por una serie de cajones situados entre placas soporte a lo largo del haz tubular, cuya misión principal es direccionar los incondensables hacia las conexiones del sistema de vacío.



Figura 10-1: Sistema de baffles haz tubular

Para el sistema de vacío, normalmente, se utiliza una bomba de vacío aunque también en pequeñas potencias se utiliza la bomba de chorro de vapor, denominadas eyectores. El eyector, es en realidad, un compresor de aire que utiliza el vapor para producir vacío, aspirar el aire y descargar la mezcla de aire y vapor, los gases no condensables entran por el conducto de la boca del eyector y son comprimidos y arrastrados fuera del condensador.

10.1.1 Eyectores

En un eyector el arrastre de un fluido se obtiene mediante el desplazamiento rápido de otro fluido. Un eyector está constituido esencialmente por (ver figura 10-2):

- Una tubería que conduce el fluido a arrastrar, que suponemos se trata de aire.
- Una tubería que introducida en la arteria conduce el fluido motor B utilizado para arrastrar el aire.
- Un trozo de tubo tronco-cónico unido a la extremidad del tubo anterior.

El aire llega al volumen anular comprendido entre las dos tuberías, el fluido B sale a través del tubo tronco-cónico a una gran velocidad, y empuja el aire contenido dentro de la tubería hacia el otro extremo de esta última. Se produce, pues, una depresión alrededor del tubo tronco-cónico que provoca la extracción del aire.

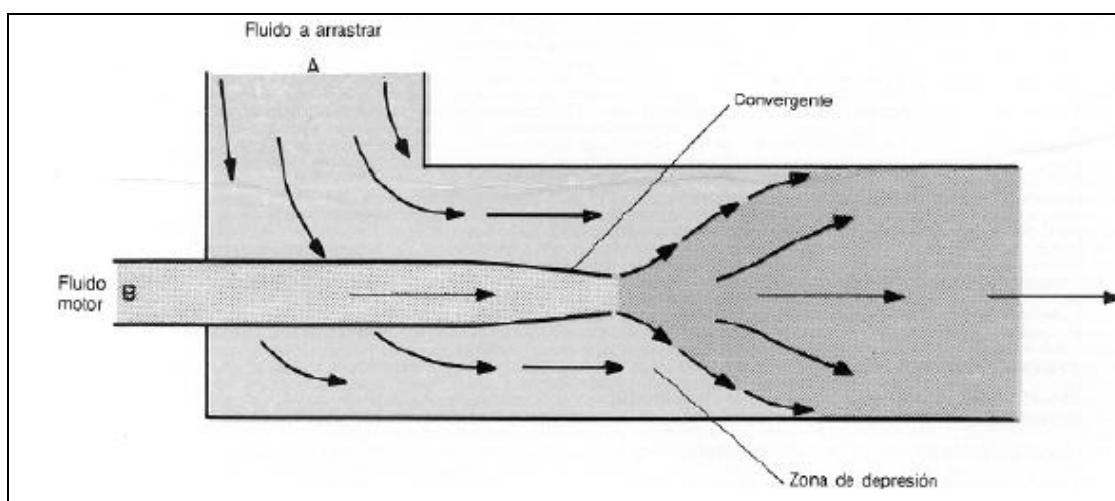


Figura 10-2: Partes de un eyector

Los eyectores tienen numerosas aplicaciones, independientemente de su empleo en centrales eléctricas, son utilizados especialmente en locomotoras de vapor en donde el paso del aire de combustión a través de la rejilla y de la capa de carbón, así como, la salida de humos a la chimenea se obtiene por inyección en la base de la chimenea del vapor de escape de los cilindros.

Los eyectores de extracción de aire constituyen una “trompa” formada por dos toberas, una convergente por la que llega el fluido motor B y en cuya salida se efectúa la mezcla y el arrastre del fluido aspirado A, la mezcla de los dos fluidos pasa a continuación por una tobera divergente. La velocidad de la mezcla disminuye durante el avance por esta tobera mientras que su presión aumenta, contrariamente a lo que sucede en la tobera convergente, donde la velocidad del fluido motor aumenta al ir atravesando el tubo al propio tiempo que su presión disminuye (Ver figura 10-3).

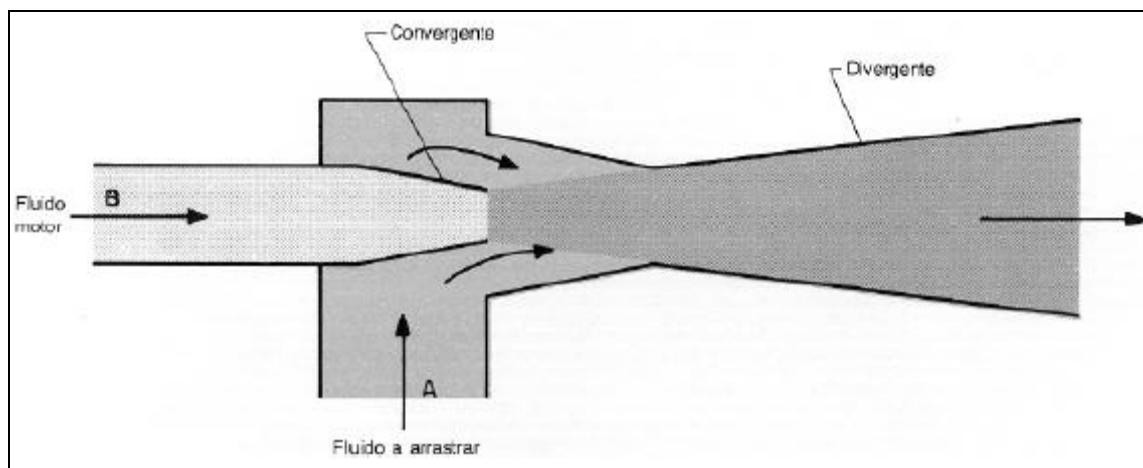


Figura 10-3: Eyector de extracción de aire 1

Puede haber dos tipos de toberas:

- Toberas de agua

Una tobera de agua es convergente, el agua entra por el lado de mayor sección S1 de la tobera, y sale por el lado de menor sección S2. La velocidad del agua aumenta durante su recorrido al mismo tiempo que la presión disminuye. Como el agua es incompresible, una misma masa de agua ocupará el mismo volumen, sea cual sea su situación dentro de

la tobera, ya que la masa de agua que atraviesa una sección cualquiera es la misma para todas las secciones.

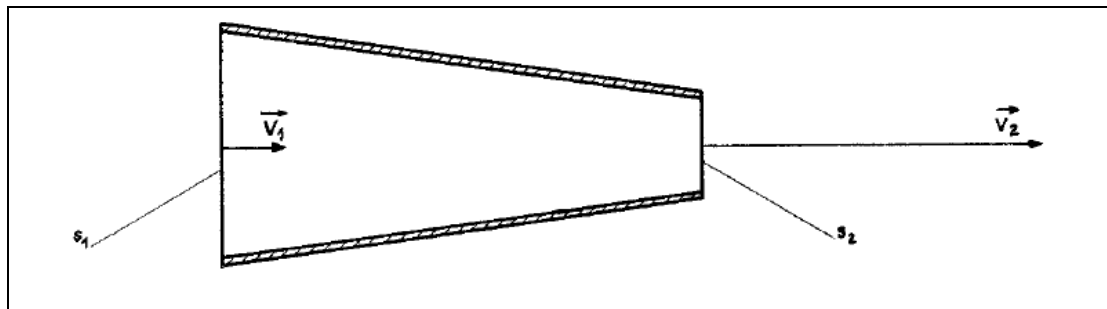


Figura 10-4: Esquema de una tobera de agua

La masa m es igual al producto del volumen V que circula por cada sección multiplicado por la masa volumétrica del agua que es constante, ya que el agua es incompresible. El volumen V es igual al producto del valor s de la sección considerada por la velocidad v del agua que atraviesa dicha sección.

$$V = s v$$

- Toberas de vapor

Los eyectores pueden alimentarse mediante un fluido comprimido (aire o vapor). Los eyectores de este tipo utilizados en centrales emplean generalmente vapor de agua como en la figura 10-5. La masa específica del vapor de agua, como en todo fluido compresible disminuye al disminuir su presión.

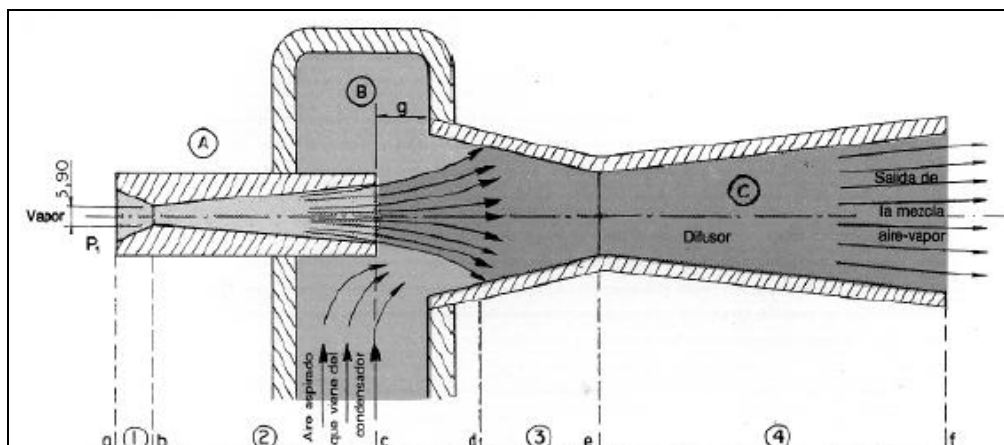


Figura 10-5: Eyectores de extracción de aire 2

La masa específica del vapor disminuye desde su entrada hasta la salida, la masa m del vapor que circula a través de cada sección de la tobera es siempre la misma, al igual que en el eyector de agua, tendremos por tanto:

$$m = s v \rho$$

Pero en este caso ρ es variable, y por tanto:

$$S = \frac{m}{v \cdot \rho}$$

En esta expresión sólo el numerador m es constante, los otros dos factores v y ρ son variables para cada sección.

La masa específica ρ del vapor disminuye cuando la presión del vapor disminuye también. Durante la expansión del vapor en la tobera la masa específica del vapor disminuye mientras que su velocidad aumenta, el valor de la sección s depende del producto $v \times \rho$, depende pues de los factores v y ρ que varían en sentido inverso.

10.1.2 Bombas de vacío

El aire del condensador se extrae mediante dos bombas de vacío, una sola bomba es suficiente para mantener el vacío en marcha normal, la otra está en reserva. Para efectuar el vacío de forma rápida se utilizan las dos bombas en paralelo.

Las bombas están normalmente alimentadas de agua del circuito de agua de circulación del condensador, sus aspiraciones están unidas a la impulsión de la bomba de circulación y la descarga de agua se efectúa en la galería de salida de agua de circulación.

- Las bombas de vacío de anillo líquido son de construcción simple y robusta, con las siguientes propiedades.
- Posibilidad de bombear prácticamente cualquier tipo de vapor o gas.
- Los gases a bombear pueden estar saturados de vapor o gas con líquidos.

- La compresión es prácticamente isotérmica.
- Cámara de compresión libre de lubricante.
- Trabajo seguro, bajo nivel de ruido, libre de vibraciones, y mínimo mantenimiento.
- Diferentes materiales de construcción dependiendo de las propiedades del fluido a comprimir.

- **Funcionamiento**

Las bombas de vacío de anillo líquido son de una etapa (un impulsor) o dos etapas (dos impulsores), que usando un líquido de servicio forma celdas de volumen variable en las que el impulsor o impulsores transfieren la energía recibida a través del eje al fluido a comprimir (Ver figura 10-6).

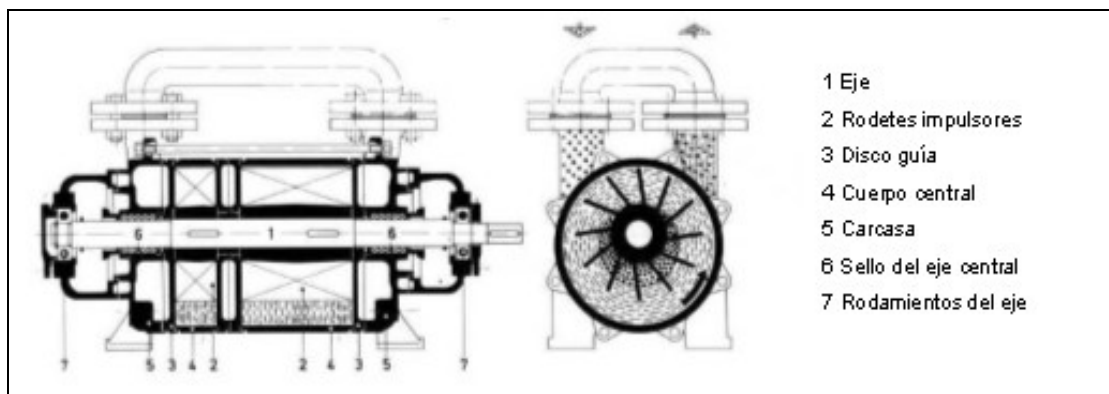


Figura 10-6: Bomba de vacío de anillo líquido

En un cuerpo cilíndrico parcialmente lleno de líquido están montados excéntricamente uno o dos impulsores provistos de aletas. Cuando los impulsores giran, el líquido de servicio forma un anillo que gira concéntrico con el eje del cuerpo cilíndrico. (Ver figura 10-7).

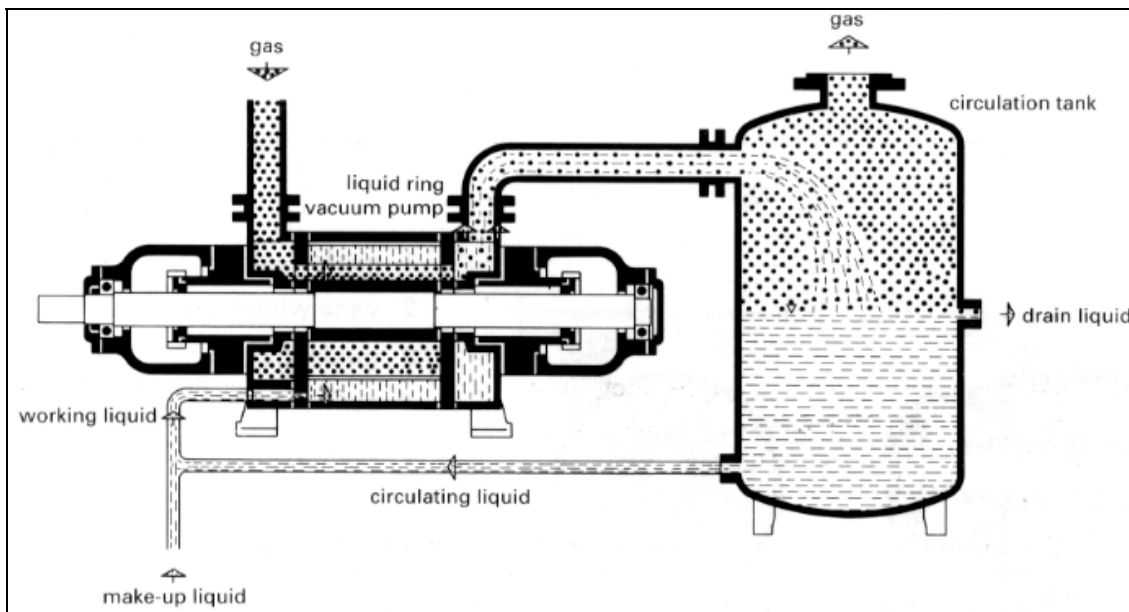


Figura 10-7: Funcionamiento bomba de vacío de anillo líquido

Como los impulsores son excéntricos respecto a este último, el líquido funciona como un pistón creando simultáneamente un proceso de aspiración, la lumbrera de aspiración está ubicada en disco de distribución en la zona del núcleo del impulsor creciendo en el sentido de giro de la bomba alcanzando unos 180° aproximadamente. Por el contrario la lumbrera de compresión está ubicada en la zona en que las celdas de aire van disminuyendo de tamaño en el sentido de giro de la bomba y su posición depende principalmente de la relación de compresión que se desee obtener.

10.2 SISTEMA VAPOR CALENTAMIENTO “*SPARGER STEAM*”

El sistema de vapor de calentamiento tiene dos funciones:

1. Calentar el condensado del pozo de condensados durante los arranques.
2. Proporcionar vapor auxiliar para desaireación dentro del condensador (para caudales de make-up mayores del 5% del caudal de vapor en turbina), con el fin de garantizar que el condensador desgasifique el agua condensada, obteniendo los 7 ppb de contenido en oxígeno, que solicita el cliente, para la condición de operación normal.

Este vapor de calentamiento se introduce en el condensador mediante la conexión situada en el pozo, por encima del “*High Water Level*”.

Este vapor proviene de la caldera auxiliar del ciclo combinado, utilizada para los arranques del ciclo.

El Sistema de Calentamiento o “*Sparger Steam*” podrá entrar en funcionamiento siempre y cuando el nivel de condensado en el pozo esté por encima de la alarma de bajo nivel.

Este vapor se usa normalmente durante los arranques para aumentar la temperatura del condensado, haciendo recircular este último hasta alcanzar condiciones aceptables.

En lo que se refiere a la lógica de control de esta conexión les indicamos que consiste en utilizar más o menos caudal de vapor regulado en función de los ppb de oxígeno que se detecten en la salida de condensados, este sistema está compuesto por un analizador del oxígeno disuelto que dará una señal a la válvula de control de vapor auxiliar aumentando o disminuyendo la demanda de vapor en función de la cantidad de oxígeno disuelto en la salida de condensados.

También se podría utilizar un sistema todo/nada que aporta el caudal de vapor necesario durante el arranque y aporte del “*make-up*”.

Es muy importante mantener el nivel de contenido de oxígeno por debajo de los límites establecidos por el cliente, ya que un contenido alto en oxígeno en el condensado, además de penalizar económicamente, puede provocar la corrosión de los tubos de la caldera debido al retorno de esta agua a la caldera de recuperación.

10.3 APOORTE DE AGUA DESMINERALIZADA “MAKE-UP”

Esta conexión se utilizará para introducir el aporte normal de agua desmineralizada (“*make-up*”) que sirve para reponer agua al condensador. Se debe tener en cuenta que este agua de aporte tiene un contenido muy alto en ppb de oxígeno, y por tanto, hay que desgasificar, la desgasificación de esta agua, se realiza mediante:

- El propio vapor de turbina, dependiendo si el caudal de agua de aporte no supera el 5% del caudal de vapor de turbina;
- Si el agua de aporte supera el 5%, mediante el sistema de vapor de calentamiento.

Esta conexión se diseña para facilitar la desaireación del agua de aportación. Mediante una tubería de orificios, el agua se vierte contra la pared del condensador, para que ésta descienda hasta el pozo en forma de fina lámina ofreciendo una mayor superficie de contacto con el vapor procedente de la turbina. En el pozo, por encima del HWL, se sitúa una bandeja cuya misión es retener el flujo descendente de agua para aumentar el tiempo de permanencia de la corriente de make-up en contacto con el vapor de turbina.

Además se direcciona el vapor de calentamiento del pozo hacia dicha bandeja de forma que se produzca un calentamiento más rápido de este agua a desgaseificar.

Existe también una conexión de aporte de agua desmineralizada de emergencia, esta se utilizará para introducir el aporte de agua de emergencia (“*emergency make-up*”) que sirve para completar el aporte de agua al condensador mientras la purga en caldera sea intermitente y también durante los arranques.

11 SISTEMAS DE SEGURIDAD

Un recipiente a presión se puede diseñar para que resista la presión máxima que pueda alcanzar en situación de accidente, en cuyo caso la construcción debe ser muy robusta, de mayor peso y consecuentemente de un coste económico superior. Para evitar este inconveniente se suelen diseñar para que resistan una presión predeterminada de diseño, disponiendo un dispositivo de alivio de presión fiable que proteja al sistema contra cualquier presión que sobrepase los límites marcados.

Los dispositivos de protección más utilizados contra ese aumento de presión son las válvulas rompedoras de vacío y los discos de ruptura, instalados individualmente o en combinación.

Ambos dispositivos actúan una vez se haya superado la presión de disparo de turbina (0,254 bara)

Para que el condensador no llegue a la presión de alarma de turbina (0,169 bara), la medida principal que se efectúa, es reducir carga térmica de turbina (disminuir duty) para producir un descenso de la presión en el interior del condensador, (ver Anexo A "Curvas de Funcionamiento")

11.1 VÁLVULA ROMPEDORA DE VACIO

La función principal de la "Válvula Rompedora de Vacío" es permitir la entrada de aire al condensador y al cuerpo de la turbina de vapor, en el caso de una parada de dicha turbina de forma que se pueda perder el vacío del interior del condensador rápidamente y reducir la velocidad de giro de la turbina lo antes posible. Se trata de una válvula de mariposa, actuada neumáticamente y pilotada por una electro válvula solenoide.



Figura 11-1: Válvula de mariposa



Figura 11-2: Actuador neumático

11.2 DISCOS DE RUPTURA

Aunque las válvulas de seguridad son los dispositivos de alivio de presión más utilizados, en ciertas circunstancias no pueden dar una completa protección. Entonces se debe considerar la instalación de discos de ruptura. Son unos dispositivos de alivio de presión sin cierre repetido del mecanismo, accionados por diferencia de presión entre el interior y exterior y diseñados para funcionar por estallido o venteo de un disco.

Las condiciones que deciden la instalación de discos de ruptura son:

- Un aumento rápido de la presión
- La existencia de fluidos tóxicos cuyo escape por una válvula de seguridad no está permitido.
- Fluidos corrosivos que pueden causar un deterioro progresivo de las válvulas de seguridad.
- Fluidos que pueden depositar sólidos o gomas que interfieran el buen funcionamiento de las válvulas de seguridad.

Las principales ventajas de los discos de ruptura son que estos dispositivos aíslan completamente el fluido del lado externo de descarga y que son más económicos en su compra y mantenimiento.

En contrapartida sus inconvenientes principales son la imposibilidad de nuevo cierre y la necesidad de detención del proceso en caso de ruptura, para la reposición de uno nuevo. Este último se supera combinando un disco de ruptura con una válvula de seguridad o instalando dos discos de ruptura en paralelo.

Otros inconvenientes son:

- Requieren normalmente un margen mayor entre la presión de funcionamiento y la presión de diseño del recipiente a proteger.
- La existencia de pulsaciones de presión pueden ocasionar fallos prematuros del disco si la presión de funcionamiento está demasiado cerca de la presión de estallido del disco.

- Al ser dispositivos de presión diferencial, son sensibles a los cambios de la contrapresión (presión estática existente a la salida de una válvula de seguridad o en la cara exterior del disco de ruptura).

11.2.1 Tipos de discos de ruptura

- Disco de ruptura abovedado convencional

Es un disco de ruptura en forma bombeada con su superficie cóncava enfrentada a la presión de estallido y diseñado para fallar por tensión.

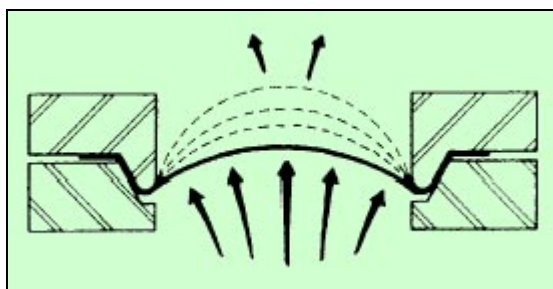


Figura 11-3: Disco de ruptura abovedado convencional

El disco convencional puede ser de forma abovedada sencilla, compuesto y ranurado. El disco abovedado sencillo es de un espesor uniforme en todo su diámetro, mientras que el disco compuesto es multicapa con una de las capas con líneas ranuradas para reducir su resistencia y controlar la presión de estallido. Otra capa hace de sellado, normalmente de teflón y ofrece una mayor resistencia a la corrosión. El disco abovedado ranurado consta de un elemento único similar al sencillo pero con unas ranuras o incisiones en el lado exterior al proceso. El disco con líneas ranuradas es más robusto y menos susceptible a daños que el abovedado sencillo.

El disco se coloca en una montura. Requiere un apoyo para presión inversa en caso de que no sea suficiente fuerte para resistirla. Ese apoyo debe estar unido de forma permanente al disco de ruptura o diseñado de tal forma que sólo se pueda instalar del lado correcto del disco.

- Disco de ruptura abovedado invertido.

Es un disco de ruptura en forma bombeada con su superficie convexa enfrentada a la presión de estallido y diseñado para fallar por fuerzas de pandeo, flexión o cizalladura.

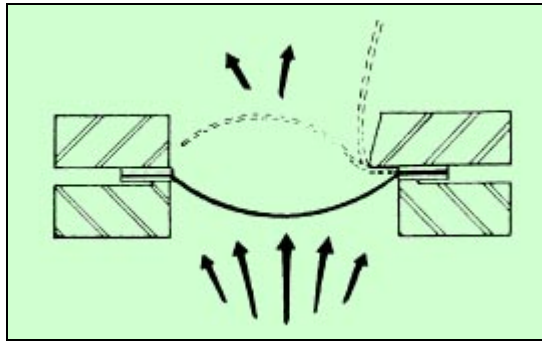


Figura 11-4: Disco de ruptura abovedado invertido

La rotura del disco puede estar ayudada por:

- Hojas de cuchilla en el lado de aguas abajo del disco que lo cortan durante la inversión del bombeado. Este método no es preferido ni permitido por algunos grandes usuarios debido a su impredecibilidad y por lo delicado en su manipulación.

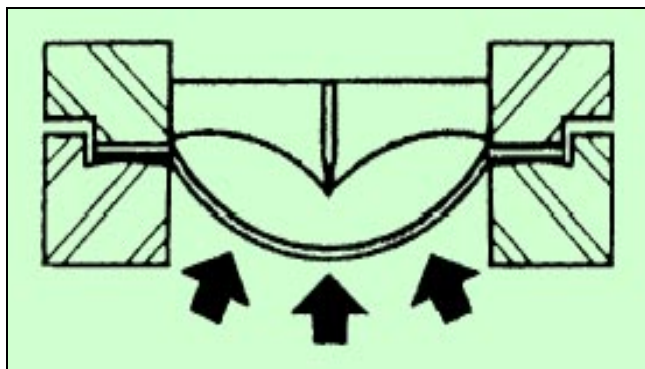


Figura 11-5: Discos de ruptura abovedado invertido con hojas de cuchilla

- Preincisión que forma unas líneas de debilidad de forma que el disco falla a lo largo de esas líneas durante la inversión.

- Diseño deslizante o rasgable que falla al ser expelido agua abajo de su montura. Se requiere normalmente un dispositivo de recogida para capturar los residuos.

El disco de ruptura abovedado invertido es normalmente varias veces más grueso que el disco convencional, por lo que puede resistir niveles superiores de presión invertida o contrapresión y vacío sin necesidad de un soporte para ello.

La vuelta del revés de un disco bombeado invertido es un peligro posible en algunos diseños; un ligero aumento de presión o una presión disminuida de respuesta debido a un daño, puede invertir la convexidad del disco, sin estallido, de forma que se convierte en un disco convencional grueso. En ese caso la presión de estallido requerida es mucho mayor que la presión de estallido certificada, con consecuencias peligrosas.

- Disco de ruptura plano

Este disco puede ser plano o ahuecado (rebajado). Si se emplea con una montura separada se conoce como disco de ruptura sustituible.

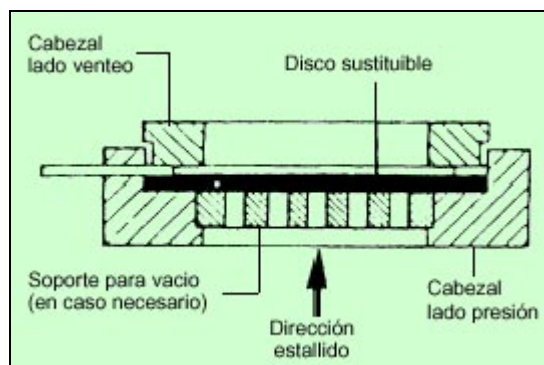


Figura 11-6: Disco de ruptura plano

- Disco de ruptura monobloque.

Es un disco ahuecado formando un todo con la montura, normalmente fabricada con grafito impregnado de resina. El monobloque puede ser ahuecado por el lado de entrada, de salida o por ambos con el hueco menor en el lado de entrada.

Es necesario que la presión del proceso se enfrente sobre el lado correcto del disco.

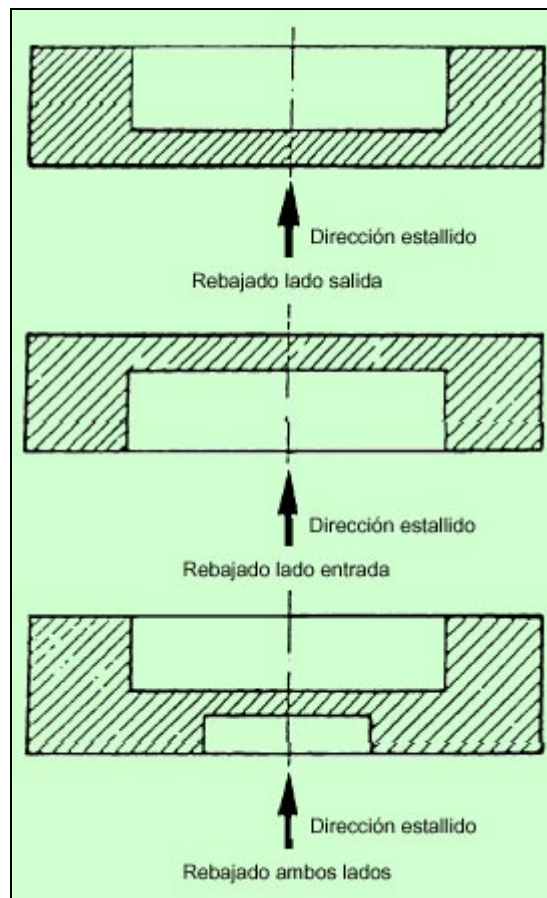


Figura 11-7: Disco de ruptura monobloque

- Disco de presión ultra baja

Es un tipo de gran precisión en su presión de estallido, diseñado para proteger recipientes contra pequeñas presiones positivas o vacío.

12. MONTAJE DEL CONDENSADOR

12.1 INTRODUCCIÓN

Este procedimiento tiene por finalidad recomendar y proponer una secuencia de montaje del condensador principal objeto de este suministro.

Este procedimiento es una guía / ayuda para que una compañía de montaje con experiencia en el montaje de condensadores pueda llevar a cabo un correcto ensamblaje del equipo.

Este procedimiento únicamente debe complementar la experiencia y criterio del personal encargado del montaje del condensador. El presente procedimiento debe ser interpretado y aplicado considerando el espacio y los medios disponibles en obra.

El condensador se ha diseñado para alcanzar un máximo grado de ensamblaje de taller teniendo en cuenta las limitaciones existentes.

El condensador se enviará a obra en los siguientes módulos principales:

- Junta de expansión.
- Cuello de transición en dos partes.
- Dos cajas de agua de entrada.
- Dos cajas de agua de salida.
- Pozo de condensados.
- Sumidero.
- Banco superior de condensador.
- Banco inferior de condensador.
- Posiciones sueltas.
- Accesorios: Válvula rompedora de vacío.

Los pesos aproximados de cada una de las partidas del condensador son los reflejados en la siguiente tabla. El montador deberá contemplar un margen en dichos pesos para cualquier maniobra que se realice.

Tabla 12-1: Pesos de las distintas partes del condensador

PARTIDA	PESO (Kg)	OBSERVACIONES
Banco superior condensador	25 900	Peso de la sección
Banco inferior condensador	22 200	Peso de la sección
Cajas de agua de entrada	5 400	Peso de cada caja
Cajas de agua de salida	5 400	Peso de cada caja
Cuello Inferior	21 500	Peso de la pieza
Pozo condensados	18 000	Peso de la pieza
Junta de expansión	10 200	Peso de la pieza

12.2 SECUENCIA DE MONTAJE

Los principales componentes del condensador se deberán instalar en el siguiente orden:

- Sistema de Anclaje
- Pozo de Condensado
- Haces Tubulares
- Cajas de Agua
- Cuello Inferior
- Cuello Superior / Junta de Expansión
- Conexión Puntos Terminales

12.2.1 Sistema de anclaje

Antes de instalar las placas embebidas (“*sole plates*”) se instalará un manguito que alojará los pernos de anclaje. Los pernos se instalarán de tal forma que se asegure su perfecta alineación. Sobre las posibles soluciones para fijar el manguito, téngase en cuenta que normalmente, los pernos no son soldables debido a su alto contenido en carbono.

Colocar en su posición definitiva las placas embebidas (“*sole plates*”) con los manguitos y una parte del tornillo de anclaje que estaría por un extremo roscado al manguito y en el otro extremo embebido en el hormigón (ver figura 12-1).

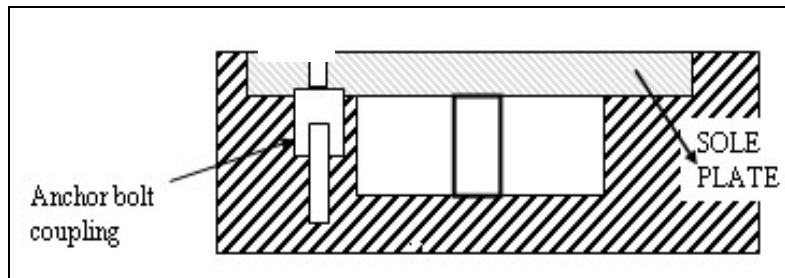


Figura 12-1: Situación final de los pernos de anclaje

Deben alinearse perfectamente todos los agujeros, ya que aunque el taladro sea más grande que los pernos en las placas embebidas (“*sole plates*”), esta holgura es la encargada de absorber las dilataciones térmicas del equipo. Nivelar las placas de placas embebidas (“*sole plates*”), verificar su correcta elevación, con una tolerancia $^{+0}_{-3}$ mm y hormigonar.

12.2.2 Pozo de Condensado

Previamente se realizará la colocación de la placa de apoyo del condensador (“*base plate*”) y las dos planchas de teflón.

Insertar las chapas de nivelación de 1 mm y de 2 mm necesarias para nivelar el equipo y soldarlas sobre la placa embebida en la cimentación (“*sole plate*”). Fijar las placas de teflón (“*sliding plates*”), una a las placas de asiento, embebidas en la cimentación (“*sole plate*”) (o encima de las chapas de nivelación si han sido utilizadas), y otra a la cara con acabado superficial de 250 rms de las placas de apoyo del pozo de condensado (“*base plate*”). En todos estos puntos se debe prestar especial atención a que el centro de los taladros sean coincidentes (la holgura entre los agujeros y los pernos tiene la función de permitir la dilatación térmica del equipo).

Instalar provisionalmente el sumidero de condensados del pozo justo debajo de su ubicación definitiva. Será responsabilidad del montador verificar que hay holgura

suficiente para realizar la colocación del condensador y que no se producirá ninguna interferencia.

Nivelar y situar sobre los apoyos de hormigón las placas base (“*base plates*”). Estas placas se suministrarán punteadas de dos en dos para proteger una de sus caras (la cara con acabado superficial de 250 rms, que será la que estará en contacto con la chapa de acero al carbono de las placas de teflón). Nivelar estas placas y situar el pozo de condensados sobre estas.

Colocar el conjunto placa de apoyo (“*base plate*”) + placa de teflón (“*sliding plate*”) encima del conjunto *sole plate* + chapas de nivelación (si son necesarias) + placa de teflón (“*sliding plate*”) (quedando en contacto las dos placas de teflón), asegurándose que el centro de los taladros en ambos montajes están alineados. Utilizar las orejetas del pozo de condensados, utilizando una grúa y bajar con cuidado el pozo hasta que esté en contacto con las chapas de apoyo (*base plate*).

Comprobar la correcta posición/alineación con las chapas de apoyo “*base plate*” (realizar protocolo) y soldarlas al fondo del pozo de condensados.

Realizar protocolo dimensional, tanto de altura como de diagonales.

12.2.3 Montaje haces tubulares

Utilizar los puntos de elevación de los haces tubulares, utilizando una grúa, prestando especial atención a las limitaciones angulares definidas para no dañar el haz tubular. Bajar con cuidado el Banco Inferior y situarlo encima del pozo de condensados, alinear utilizando orejetas de premontaje para realizar la soldadura de las chapas.

Si la descarga de los haces no se hace directamente sobre el pozo de condensados, deberá apoyarse en una superficie plana y nivelada, apoyando las placas soporte sobre dicha superficie (colocando un apoyo por placa soporte y uno por placa tubular, caras frontal y posterior).

Completar la soldadura entre el pozo de condensado y el haz tubular inferior utilizando como mínimo cuatro (4) soldadores y una técnica alternada de soldadura secuencial.

Soldar los conjuntos de los redondos.

Posteriormente descargar el Banco Superior sobre el inferior utilizando de nuevo las orejetas de premontaje (elevación mediante “*lifting beam*”) siguiendo las mismas recomendaciones seguidas para descargar el haz inferior sobre el pozo.

Soldar los arriostrados entre los dos haces tubulares. Puntar las principales juntas / uniones de campo cuando todas las ubicaciones y dimensiones se hayan verificado (realizar protocolo dimensional de los módulos antes de soldarlos entre ellos o al pozo de condensados).

Completar las soldaduras entre el haz inferior y el haz superior, utilizando como mínimo cuatro (4) soldadores y una técnica alternada de soldadura secuencial.

Realizar protocolo de la elevación total del conjunto pozo + haces tubulares. Tengan en cuenta que la tolerancia máxima en altura del condensador completo, incluida la junta de expansión (una vez ensamblado) es $^{+0}_{-3}$ mm.

Además del protocolo en elevación se debe realizar un protocolo del parámetro del haz + pozo a unir con el cuello de transición.

Se insertará la otra parte del tornillo de anclaje que por un extremo se roscará al manguito instalado en la placa base, y por el otro extremo se colocará la arandela y se roscará con la mano la tuerca de dicho perno.

En cualquiera de los dos casos debe quedar una holgura de 6 mm a cada lado del perno que absorba las dilataciones térmicas del equipo.

Ajustar el sumidero al pozo de condensados y completar las soldaduras. Instalar la rejilla de acero inoxidable sobre el sumidero y puntarla.

Ajustar y soldar el “*Restainig Support*” a la chapa de asiento y a la chapa del fondo del pozo de condensado.

Ajustar y soldar el “*Flex Plate*” a la viga de la fundación y la chapa lateral del pozo de condensado.

La soportación del condensador se realizará en la parte inferior del pozo de acuerdo al sistema descrito en el apartado, “Sistema de anclaje”. Debido a la posición de los soportes, el desplazamiento existente entre el condensador y la turbina sería axial y radial.

El punto fijo estaría centrado en la parte inferior del pozo de condensados.



Figura 12-2: Izado haz tubular

12.2.4 Montaje Cajas de Agua

Se montarán las cajas de agua antes de instalar el cuello de transición.

Montar las juntas a instalar entre la caja de agua y la placa tubular, que se suministrarán seccionadas, cuya unión es en cola de milano. Aplicar silicona de junta adhesiva (a la placa tubular en el área de la junta según la Figura 12-3, e instalar ésta. Aplicar, de la misma manera, silicona de junta adhesiva a la brida de la caja de agua. Colgar la caja de agua delante de la placa tubular e instalar suficientes varillas guía (no incluidas) en los taladros para que la caja de agua se pueda desplazar hasta su posición final.

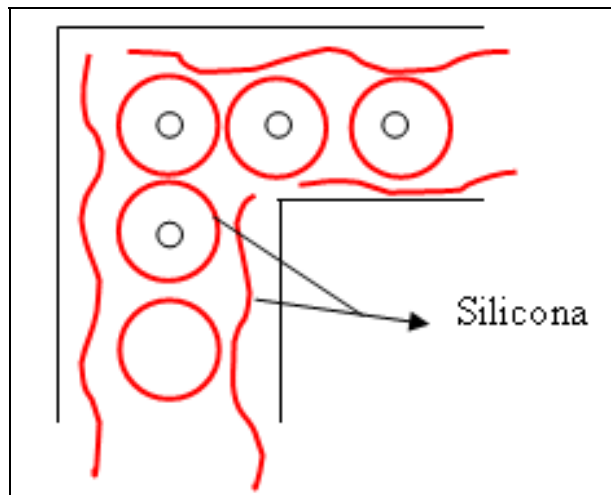


Figura 12-3: Silicona en la placa tubular

Instalar primero dos de las cajas de agua y estimar el consumo de silicona necesaria para instalar el resto.

Instalar todos los pernos y tuercas y apretar a mano. También deben instalarse los pernos y tuercas de la pared divisoria de las cajas de agua de entrada y de salida.

A continuación se detalla el procedimiento de apriete de los pernos de embrizado de las cajas de agua con la placa tubular en el caso de que el recubrimiento interior de las cajas de agua sea engomado.

Realizar el apriete de los pernos hasta conseguir un justo contacto (continuo/íntimo) entre la placa tubular / junta / engomado neopreno / brida cajas de agua / tuerca.

Comprobar el hueco entre la placa tubular y la brida de las cajas de agua (según plano: 4 mm de junta + 5 mm de recubrimiento de neopreno = 9 mm). Colocar seis testigos en seis puntos de control (ver figura 12-4).

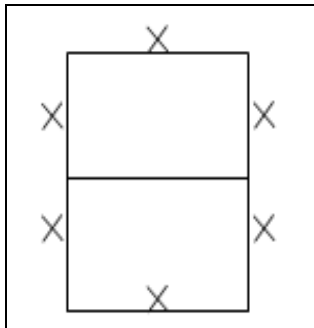


Figura 12-4: Vista de los 6 testigos

Usando una llave dinamométrica de 815 Nm, realizar un apriete de hasta 280 Nm, siguiendo la secuencia del centro hacia fuera expuesta en la *figura 12-5*.

Si el hueco no ha llegado a reducirse 3 mm (reducción máxima del hueco), dar un segundo apriete de 280 ± 10 Nm a los pernos de la periferia de la brida de 1 1/4".

Volver a comprobar el hueco existente entre la placa tubular y la brida.

Si el hueco entre la placa tubular y la brida es aun mayor de 6 mm, volver a apretar los pernos de la periferia 255 ± 10 Nm (apriete final 815 ± 10 Nm).

Realizar un protocolo con el apriete final y el hueco en los seis testigos.

Realizar una prueba hidrostática a la presión de operación en el lado del agua de circulación. Comprobar que no se producen fugas.

En el caso de que se detecten fugas en la unión durante la prueba hidrostática, comuníquese al supervisor que estudiará las medidas a tomar.

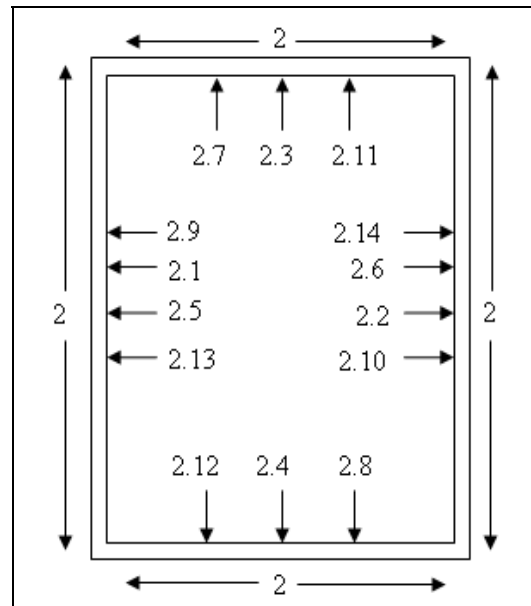


Figura 12-5: Secuencia de apretado de las tuercas de las cajas de agua

Existen (4) cuatro tornillos de *DIN 933 (M20)* en cada brida de las cajas de agua cuya finalidad es poder separar ésta de la placa tubular y de la junta. Estos tornillos no deben traspasar la brida de la caja de agua (distancia mínima hasta la junta de 5 mm) y se fijarán con una tuerca (*DIN 934 M20*).



Figura 12-6: Detalle cajas de agua montadas

12.2.5 Montaje Cuello Inferior

Nivelar un área exterior al de implantación del condensador (teniendo presente la posterior maniobra de colocación) y situar sobre ella el Cuello de Transición Inferior, apoyado sobre sus vigas IPE –220.

Utilizar los puntos de elevación, para realizar la operación con la grúa.

Posteriormente situar el Cuello de Transición Superior hasta hacer coincidir las dos partes. Deberán coincidir los arriostrados para unir ambos extremos mediante un tubo de 5” soldado a cada una de las dos mitades del Cuello.



Figura 12-7: Cuello Inferior montado en taller

Completar la soldadura entre ambas mitades utilizando una técnica alternada de soldadura secuencial.

Realizar protocolo de dimensiones en elevaciones, alturas en diagonales tanto de la parte inferior del cuello a unir con el pozo y el haz tubular como de la parte superior a unir con la junta de expansión.

A continuación se procede a realizar la elevación del Conjunto Cuello de Transición, en dos etapas; la 1ª izando el cuello verticalmente hasta una altura, como mínimo, superior a cualquiera de las diagonales del conjunto; la 2ª, una vez el conjunto elevado, se gira 90° hasta dejarlo en situación de poderlo aproximar hasta su ubicación final.

Una vez aproximado el Cuello de Transición al conjunto pozo + bancos se procederá a su arriostamiento para poder realizar la soldadura entre el cuello de transición y el conjunto pozo + bancos.



Figura 12-8: Embalaje del cuello para transporte marítimo

12.2.6 Montaje Cuello Superior-Junta de Expansión

La junta de expansión se suministrará con una desalineación vertical en su eje horizontal de 4,5 mm de forma que cuando se monte en su posición final la unión con turbina esté 4,5 mm más elevada que la unión de la junta con el condensador.

La placa de prueba hidrostática de dimensiones 4200 x 4200 mm se enviará instalada en la junta de forma que una vez realizada dicha prueba se deberá quitar la placa y descomprimir la junta los 25mm de espesor que tiene esta placa para dejarla en su posición final.

Los fuelles de la junta están protegidos por una cubierta exterior desmontable. En el caso del fuelle más cercano a la brida de la junta, dicha cubierta deberá desmontarse temporalmente para facilitar la instalación de los pernos que embridan la junta con la turbina, y posteriormente debe volver a instalarse dicha protección cuando los pernos estén nuevamente montados.

Debe tenerse especial cuidado en no dañar las ondas de poco espesor, evitando golpes que dañen las ondas, abollándolas y/o rayándolas, arcos de soldadura y salpicaduras de soldaduras.

No sujetar nunca la junta con cadenas o cuerdas alrededor de los fuelles. Deben utilizarse únicamente los puntos de izado designados.

No mover la junta de expansión (compresión, expansión, lateral y/o rotación) debido a la desalineación de la conexión. Si se impone un movimiento a la junta, puede provocarse un funcionamiento incorrecto, daño de las ondas y de sus protecciones o de otros componentes. Especialmente, se verán reducidos los ciclos de vida, las fuerzas transmitidas a los equipos conectados pueden superar los valores de diseño, la holgura de los protectores interiores de 4 mm puede verse seriamente afectada y la estabilidad y la capacidad de soportar la presión de los fuelles puede verse reducida.

12.2.7 Conexión Puntos Terminales

En conexiones de las cajas de agua de entrada / salida se deberá instalar una cesta para evitar la pérdida de las bolas de limpieza en los drenajes.

Estas cestas se instalarán entre la brida de las conexión de la caja de agua y la brida de la línea en el momento del conexionado.

A continuación se muestra el condensador completamente mostrado, figura 12-8.



Figura 12-9: Condensador montado

13 PUESTA EN MARCHA

13.1 PUESTA EN MARCHA INICIAL

Una vez finalizados todos los trabajos en el interior del condensador y en la turbina de vapor de baja presión, es imprescindible realizar una limpieza a fondo, en primer lugar de todas las líneas que descargan en el condensador (especialmente las descargas de los by-passes), y posteriormente del interior del condensador para eliminar cascarilla y restos de soldadura y suciedad general. Esta limpieza se realizará antes de retirar el embalaje de aluminio que protege todo el haz tubular.

La limpieza se realizará también en el lado agua de circulación sobre todo en las tuberías, bombas y válvulas de los sistemas auxiliares, con especial énfasis en la tubería de entrada de agua de circulación, sistema de la torre de refrigeración (cuando exista) y el conjunto de tuberías de distribución. Se tendrá especial cuidado de que no queden restos de plásticos u otros residuos que pudieran taponar las entradas de los tubos en la placa tubular.

Se cerrarán todos los agujeros de inspección, bocas de hombre, drenajes y venteos atmosféricos del lado vapor.

Se asegurará que todos los equipos auxiliares, tales como bombas de agua de circulación, bombas de condensado, bombas de vacío y válvulas, así como todos los sistemas de monitorización, control y seguridad, tales como agua de sellado, aceite de engrase de rodamientos y agua de refrigeración, instrumentación de control y dispositivos de enganche, están en posición de funcionamiento y preparados para la puesta en marcha.

Se llenará el pozo de condensados del condensador con el agua de aporte adecuada hasta alcanzar el nivel normal del pozo.

En este momento se podrá sellar la turbina, o hacerlo una vez que se haya efectuado el vacío en el condensador y tomado lectura del medidor del flujo del aire. Sin embargo, el sellado (llenado del sello) se completará antes de que el vapor entre en el condensador.

Se abrirán las válvulas de succión y venteo de las bombas de condensado y se permitirá que éstas se llenen completamente de agua. Se abrirán las válvulas de sellado de las bombas de condensado.

Si se colocan filtros entre el condensador y las bombas de aspiración del condensado, hay que usar un medidor de presión diferencial o un manómetro, para medir la pérdida de carga a través de los filtros, de manera que si ha habido retención de suciedad y los filtros se han obstruido, puedan ponerse fuera de servicio, limpiarse e instalarse de nuevo antes de que las bombas de condensado sufran daños, debido a la pérdida de aspiración, bajo N.P.S.H. (presión disponible en cabeza) y/o bajo nivel durante la operación.

Si el pozo de condensados del condensador se emplea como depósito para llenar la totalidad de los sistemas de condensado y de agua de alimentación, bien a través de una bomba aislada, o bien por sangrado (derivación) de las bombas de condensado durante la recirculación, se debe mantener un control constante, tanto automático, como manual del nivel del pozo de condensados, de manera que se introduzca una cantidad suficiente de agua de aportación, para evitar que se dañen las bombas de condensado, debido a una aspiración reducida, o a la pérdida total de la misma.

Se preparará el sistema de vapor auxiliar para la conexión de calentamiento del agua del pozo de condensados (“*Sparger Steam*”) comprobándose sus condiciones de presión y temperatura.

Se preparará el sistema de condensado para la recirculación a través del condensador del vapor de sellos de la turbina y/o cualquier otro equipo donde sea necesario un flujo mínimo durante la puesta en marcha.

Se preparará el sistema de agua de circulación, poniéndose en marcha el sistema de sellado de las bombas de agua de circulación (si aplica), la lubricación de sus rodamientos y demás sistemas de refrigeración. Se comprobará que los filtros y las rejillas de entrada están limpios y preparados para la puesta en marcha y operación.

Se abrirán todos los venteos de puesta en marcha de las cajas de agua del condensador y se comprobarán los sistemas de eliminación de incondensables de la caja de agua, llenándose las cajas de agua mediante la puesta en marcha del sistema de eliminación de incondensables (*"priming system"*), cuando así se haya previsto.

En caso de que las cajas de agua del condensador se llenen mediante la puesta en marcha de las bombas de agua de circulación, se programarán las válvulas de descarga para abrirse lentamente hasta aproximadamente el 20%, deteniéndose durante unos 30 segundos antes de abrirse totalmente. Esto minimizará el golpe de ariete de puesta en marcha sobre las placas tubulares y permitirá el venteo de la línea (se deberá confirmar este procedimiento de arranque con el fabricante de la bomba.)

Se verificarán los sistemas de eliminación de aire y gases no condensables: bombas de vacío y su equipo asociado.

Comprobar que todas las juntas de expansión, apoyos deslizantes, chapas flexibles, etc, están colocadas adecuadamente, sin suciedad ni partículas extrañas, con libertad para moverse de la forma requerida.

13.2 PUESTA EN MARCHA NORMAL

Cuando el sistema de agua de circulación esté disponible tal como se ha explicado, ya se pueden poner en marcha las bombas de agua de circulación con lo que comenzará a fluir agua por el interior de los tubos.

Tras haber venteado todo el aire ocluido y comprobado que el nivel visual de las cajas de agua indica que éstas están llenas, se posicionan los venteos de las cajas, para extraer de manera continua el aire que, a partir de ese momento, aparezca en el sistema, bien procedente del exterior, o bien el que estuviera previamente disuelto en el agua de circulación. Hay que comprobar todas las juntas, bridas y accesorios, para asegurarse de que no fugan; en su caso, reapretar y ajustar los elementos que fuguen. Una vez que se ha conseguido un flujo estable del agua de circulación y se está seguro de la no presencia de fugas, se puede poner en funcionamiento el sistema de limpieza de los tubos (si se ha realizado su instalación).

Una vez realizado todo lo anterior, arrancar las bombas de condensado y establecer la recirculación, al menos a través de los sistemas que lo requieran.

Comprobar todas las bridas, juntas y accesorios, para cerciorarse de que no hay fugas; en su caso, reparar. Comprobar que todos los soportes de las tuberías se encuentran en su posición "fría" y con libertad para desplazarse hasta su posición "caliente" para evitar que los esfuerzos se transmitan a las bombas de condensado provocándoles daños.

Cuando se haya establecido una recirculación del agua del pozo de condensado se procederá al suministro de vapor a la conexión de vapor de calentamiento del agua del pozo de condensados (*"Sparger Steam"*) hasta alcanzar una temperatura cercana a la temperatura de funcionamiento del condensador.

Una vez verificados los sistemas de eliminación de aire y gases no condensables (bombas de vacío y su equipo asociado) y asegurándose que los medidores de flujo de aire del sistema no están actuando (para protegerlos del gran flujo inicial que hay durante el arranque) se podrá poner en funcionamiento el sistema de vacío.

Una vez verificado que el sistema de vacío funciona correctamente, poner en servicio el sistema de sellos de la turbina y proceder a la obtención del vacío requerido en el condensador. Mientras se baja la presión en el condensador (se establece el vacío), comprobar todas las bridas, juntas, accesorios y niveles visuales, para constatar que no hay fugas (entradas) de aire; en el caso de que existan estas se deberán sellar con productos, tales como el GLYPTOL nº 1201, reparar y/o apretar los elementos necesarios para eliminar las fugas de aire. El proceso debe completarse comprobando todos los sistemas y elementos que van a trabajar íntimamente ligados al condensador y muy especialmente, los que trabajan a una presión menor que la atmosférica.

Cuando se ha alcanzado el mínimo vacío previsto para poder entrar en carga, o en su caso, el máximo grado de vacío que sea posible alcanzar en ese momento, poner en funcionamiento los medidores locales de flujo de incondensables (desconectados anteriormente) y comprobar que éstos indican los SCFM (*“standard cubic feet per minute”*) especificados o menos. Si se cumple lo anterior, las fugas (entradas) de aire al sistema, están dentro de los márgenes previstos. Si las lecturas son mayores que las especificadas, quiere decir que hay más fugas de aire que deben ser localizadas y taponadas, antes de continuar con el arranque.

Para este condensador, las medidas deben estar sobre los 12,5 SCFM para la bomba de vacío en operación, para que el sistema pueda aceptarse como estanco. Antes de que haya vapor en la turbina, muchos elementos del sistema están sometidos a vacío; elementos que no trabajarán a vacío durante la operación normal. La experiencia demuestra, que una vez que se admite vapor en la turbina y los equipos trabajan en condiciones normales, el flujo de incondensables cae por debajo de 12,5 SCFM. Hay que tener en cuenta la existencia de residuos químicos volátiles, procedentes del

tratamiento del agua del ciclo, el aire ocluido en el sistema de aportación y en los tanques de condensado que pueden hacer que se superen los 12,5 SCFM mientras se comprueban las fugas del aire.

Una vez que se haya alcanzado el máximo vacío previsto y se tenga una lectura uniforme, comprobar el propio medidor de aire. Un descenso acusado de su lectura, puede indicar que no estaba bien ajustado.

A medida que el generador de vapor (caldera) continúa subiendo de presión y temperatura y las tuberías de descarga están en operación, debe comprobarse, donde sea posible, que los flujos no superan a los indicados en las condiciones de diseño. Si existen sobrecargas significativas es necesario consultar con el fabricante del condensador, de forma que se puedan efectuar modificaciones que eviten daños al condensador.

Al aumentar la carga del generador y ponerse en servicio los drenajes de calentamiento de la turbina y los posibles by-pass de la misma y una vez que la desgasificación del condensado se haya logrado, se alcanzará un punto en el que el flujo de vapor del condensador tendrá suficiente circulación y carga térmica, para mantener el condensado en condiciones óptimas.

Al arrancar la turbina y alcanzar su velocidad de diseño y con la producción del generador de vapor en condiciones de diseño, se alcanzará un punto en el que la carga del condensador (masa de vapor entrante), supere los condicionamientos de la mínima recirculación de condensado. En este momento, se puede proteger el sistema de recirculación y de vapor de calentamiento, poniéndolo en situación de espera (stand-by) y comenzar a operar en condiciones normales

13.3 PUESTA EN MARCHA FRÍA OPERANDO CON EL 60% DEL CAUDAL

Una vez que las fases de recirculación y las fases de puesta en marcha de las tuberías de descarga de vapor se han completado, se eleva la carga de la unidad hasta el valor que corresponda y con la condición de agua de circulación que se elija hasta que se pueda poner en servicio el otro haz tubular. En el Anexo A se presentan las *Curvas de Funcionamiento del Condensador* que predicen el vacío en el condensador en función de la carga térmica y la temperatura del agua de circulación.

13.4 PUESTA EN MARCHA DEL HAZ TUBULAR FUERA DE SERVICIO

En este caso, la totalidad del lado fuera de servicio, incluyendo el sistema de circulación de agua, se encuentra sin funcionar. Por lo tanto, los preparativos y arranque son los mismos que para el arranque normal, completando las tareas restantes para este lado del condensador, excepto lo que se indica en los siguientes puntos:

- Al haber vacío en el condensador, no se deben abrir las válvulas de extracción de incondensables de la zona de subenfriamiento, hasta no haberse establecido el flujo de agua de circulación a través de los tubos. A la inversa, si se trata de pasar de la condición de carga normal a la condición de superficie mitad, las mencionadas válvulas deben cerrarse justo antes de cortar el flujo de agua de circulación.
- El cambio de condiciones de operación desde media superficie a carga normal siempre provoca que tubos y placas tubulares calientes sufran el influjo de una gran masa de agua relativamente fría y esto puede causar un choque térmico. Este choque térmico puede hacer que las placas tubulares se alabeen y debiliten/dañen la unión de los tubos que es expandida y soldada causando fugas en la junta del tubo. Por lo tanto, se debe poner mucha atención en la velocidad de llenado del haz tubular, de modo que se llene lo más rápidamente posible, pero manteniendo un choque térmico mínimo.

Al calentarse el agua de circulación debido a que los componentes del condensador se encontraban calientes, el flujo debe ser cuidadosamente controlado, para minimizar el efecto de la carga repentina de agua fría (se deberá consultar el manual de instrucciones del fabricante de la bomba para operar con bajo caudal).

Se deberán seguir las siguientes indicaciones sobre los elementos que están ubicados en el lado que se va a poner en servicio:

- Cerrar las bocas de hombre y drenajes de las cajas de agua; abrir sus venteos.
- Llenar el lado tubos, preparar el sistema de agua de circulación y cerrar los venteos de las cajas de agua, una vez llenas.
- Arrancar la bomba de agua de circulación y establecer, con cuidado, el flujo de agua a través de los tubos. Conectar los venteos automáticos de las cajas de agua.
- Abrir las válvulas que permiten el paso de los incondensables desde la zona de subenfriamiento al sistema de vacío.
- Subir la carga de la Unidad, hasta el nivel deseado.

13.5 PARADA DEL CONDENSADOR

Al ir rebajando la carga de la turbina, se alcanzará un punto en el que el sistema de condensados, pasa a funcionar en “recirculación” y el by-pass de turbina y otros vertidos al condensador se abrirán secuencialmente, hasta que la turbina se desconecte de la red. En este momento, el vapor del generador de vapor se verterá al condensador, hasta que se complete la parada.

En este punto, si la parada es sólo temporal con un arranque esperado en un futuro inmediato y si ningún equipo va a ser operado para ser reparado, se deberá mantener el condensado en un nivel de pureza adecuado durante la condición de reserva. Si por el contrario, la unidad se va a parar completamente por un largo periodo de tiempo o para realizar alguna reparación, entonces se seguirán los siguientes pasos:

Una vez que las corrientes han cesado en todas las tuberías y drenajes, y que la turbina se ha enfriado suficientemente se deberán seguir los siguientes pasos:

- Cerrar las válvulas de entrada del equipo de extracción de aire.
- Parar el equipo de extracción de aire.
- Comenzar a romper el vacío del condensador mediante la válvula rompedora de vacío, para evitar una súbita irrupción del aire, a través del sistema diseñado para su eliminación.
- Cuando el vacío haya caído lo suficiente, cerrar la válvula de vapor de sellos a la turbina. De esta manera se reduce el efecto de aire frío sobre el rotor de la turbina. Si se coordina adecuadamente el sistema de sellos con la reducción del vacío en el condensador, no habrá peligro en que el vapor de sellos irrumpa, recalentando la turbina, ni que la súbita entrada de aire frío deforme el rotor.
- Una vez que el vapor de sellos esté cortado y que el “*packing exhauster*” se haya enfriado, se pueden parar las bombas de condensado y desconectar el sello de agua de las mismas.
- Si hay que entrar al lado cuerpo del condensador, se puede drenar el condensado del pozo de condensados, o bombearlo hasta el tanque de almacenamiento de condensador.
- Una vez la temperatura del cuerpo haya descendido, el agua de circulación no debe pararse, salvo que las cajas de agua vayan a ser drenadas y abiertas. En este caso, los tubos deben de ser barridos con agua limpia, secados y mantenidos secos.

Si hubiera que abrir las cajas de agua, se deberán seguir las siguientes indicaciones:

- Parar las bombas de agua de circulación.
- Cerrar las válvulas de entrada y salida de agua al condensador.
- Abrir venteos y drenajes de las cajas de agua.
- Abrir sus bocas de hombre, para conseguir acceder al interior.

- Eliminar las suciedades que pudieran encontrarse en las cajas y barrer los tubos con agua limpia, utilizando el equipo de limpieza intermitente para reducir el ensuciamiento.
- Sacar todo el agua acumulada en las cajas de agua y secar los tubos (por ejemplo, mediante pelotas de esponja/goma, impulsadas neumáticamente).
- Mantener los tubos secos, para evitar la corrosión causada por la condensación. Hacer circular aire templado, a través de los tubos y cajas de agua, para mantener el metal por encima de la temperatura de rocío. Esto debe mantenerse mientras el condensador esté fuera de servicio.
- Si se prevé una parada larga, drenar el pozo de condensados y abrir las bocas de hombre del lado cuerpo.

14 MODOS DE OPERACIÓN

14.1 OPERACIÓN NORMAL

Cuando la turbina opere en las condiciones de diseño, la unidad en general y el condensador en particular, se encuentran en situación de operación normal.

El controlador de nivel del pozo, instalado en el exterior, controla las posibles variaciones de flujo, debidas a oscilaciones en la carga de la Unidad, manteniendo el nivel del pozo de condensados en los niveles requeridos.

La zona de enfriamiento, el sistema de extracción de aire e incondensables y el sistema de vacío, impedirán la acumulación de incondensables en el condensador, extrayéndolo del mismo (incondensables provenientes de fugas de aire, volátiles del sistema de tratamiento del agua, etc.) manteniendo el adecuado vacío en el condensador.

Los drenajes y vertidos al condensador, una vez condensados y pulverizados, son recalentados y las gotas de condensado entran en contacto con el vapor facilitando la extracción de los gases incondensables. De esta manera se consigue que el condensado devuelto al ciclo, tenga las condiciones previstas.

El sistema de eliminación de aire de las cajas de agua debe conseguir eliminar el aire que haya podido entrar, para mantener las cajas de agua llenas.

El sistema de limpieza de los tubos (sistema de bolas de limpieza) mantiene el adecuado nivel de limpieza en el lado tubos, consiguiendo mantener el coeficiente de transferencia de calor lo más elevado posible.

La respuesta en el rendimiento del condensador en el modo de operación normal a las variaciones en la carga de vapor en función de la temperatura de entrada de agua de

circulación y el grado de limpieza del tubo aparece mostrado en las curvas de funcionamiento para la superficie del condensador y el caudal de agua de circulación indicado en cada una de ellas.

Hay que comprobar periódicamente el funcionamiento del condensador a las diversas cargas, leyendo los niveles de agua, manómetros y termómetros visualmente. No se debe dejar tan sólo esta responsabilidad a los detectores e instrumentación automáticos y/o a los resultados interpretados por un posible ordenador.

14.1.1 Operación de los By-pass y de la cortina de agua (“Fog Spray”)

- **Operación en by-pass**

La operación de los by-passes es una condición severa que puede dañar el condensador a menos que se tomen precauciones. Al objeto de mitigar estas condiciones, el condensador dispone de los siguientes sistemas:

- Tuberías de descarga de *by-pass* (“*Steam Dump Pipes*”). Deben diseñarse para distribuir el vapor en la máxima superficie posible del condensador.
- Sistema de atemperación del vapor de *by-pass* antes de descargar en el condensador. La entalpía del vapor *by-pass* al entrar en el condensador deberá estar comprendida entre 2810 y 2850 kJ/kg.
- *Turbine Spray Hood*. Es un sistema de atemperación y barrera en cuello turbina.

Además de estos sistemas primarios, se instalan otros sistemas de protección secundaria como es la cortina de agua del condensador.

El funcionamiento en by-pass ocurre cuando el vapor no atraviesa la turbina y llega al condensador a través de unas tuberías especiales de distribución.

Debido a la disparidad en los niveles de energía entre el origen del vapor y del condensador, cuando el vapor se introduce en el condensador por medio de los by-passes, previamente ha sido necesario reducir su presión y atemperarlo antes de entrar al condensador. Si no se realiza el paso anterior, la energía del vapor dañaría los interiores del condensador. Incluso después de esta reducción de la temperatura y de la presión del vapor sus niveles pueden ser todavía relativamente altos para el condensador.

Además de estos sistemas primarios, se instalan otros sistemas de protección secundaria como es la cortina de agua del condensador.

- **Funcionamiento de la cortina de agua (“Fog Spray”)**

La cortina de agua se debe usar por las siguientes razones:

- Mantener la operación fiable y segura del condensador ante fallos de los sistemas primarios.
- Durante la operación la temperatura en el cuello del condensador no debe superar los 82,2 °C.
- Constituye una barrera para evitar que el vapor de *by-pass* fluya hacia la turbina de vapor.
- Proteger de sobrecalentamiento los internos del condensador y la junta de expansión del cuello. Evitando que se reduzca su vida útil y evita la concentración de tensiones en determinadas zonas como consecuencia de expansiones térmicas diferenciales.

Dado que el sistema de cortina de agua esta considerado como un sistema de seguridad, se diseña como todo o nada. La apertura de la válvula de este sistema se debe secuenciar / anticipar a la descarga de los *by-pass*.

14.2 OPERACIÓN CON UN SOLO HAZ TUBULAR EN SERVICIO

14.2.1 Preparación para operar con un solo haz tubular

En algunas ocasiones puede ser necesario operar con solo uno de los bancos del condensador para realizar algún tipo de reparación (taponamiento de algún tubo, limpieza, etc..)

Con el flujo de agua de circulación disponible, la carga térmica del condensador (vapor de turbina entrante o duty), el grado de limpieza de los tubos y la temperatura del agua de circulación, se comprobará que la presión en el condensador es inferior a la de disparo de turbina. Si se comprueba que dicha presión es mayor y puede provocar el disparo de turbina se tomarán las medidas necesarias para reducir la carga térmica del condensador.

Lo siguientes puntos se refieren al haz que va a ser sacado de servicio:

- Cerrar las válvulas de las bombas de vacío (las de incondensables) y aislar el sistema de vacío en el banco a dejar fuera de servicio.

Cuando un lado del condensador está fuera de servicio, las líneas de extracción de incondensables de ese lado deberán estar aisladas del resto del sistema de extracción de aire, (ver figura 14-1), de otra manera, el vapor se succionaría hacia el lado del condensador que está fuera de servicio, y estrangularía la bomba de vacío.

Durante el funcionamiento con un haz tubular y todas las conexiones en operación se deberá tener especial cuidado si se realiza alguna operación de mantenimiento en las cajas de agua para evitar posibles flaseos del agua que pueda haber en el interior de los tubos.

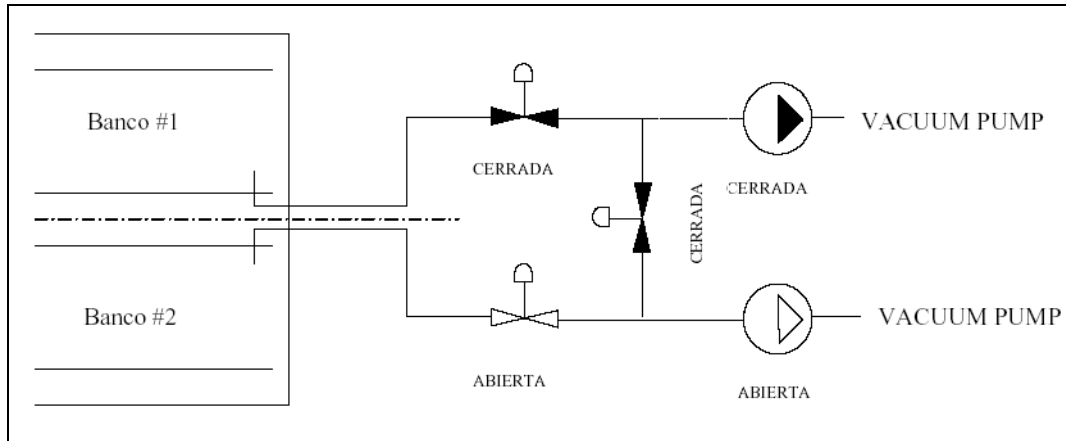


Figura 14-1: Posición válvulas extracción de incondensables, con un haz fuera de operación

Debe asegurarse que todas las válvulas de atemperación están trabajando adecuadamente y que todos los drenajes calientes y tuberías de descarga no están operando por encima de sus condiciones de diseño antes de comenzar la operación con un haz tubular,

- Abrir el venteo o la conexión antivacío de la caja de agua de salida para evitar que se produzca vacío al parar el sistema de agua de refrigeración, (ver figura 14-2).
- Aislar el banco del sistema de agua de refrigeración. Se impulsará el agua de refrigeración con una sola bomba de agua de circulación.

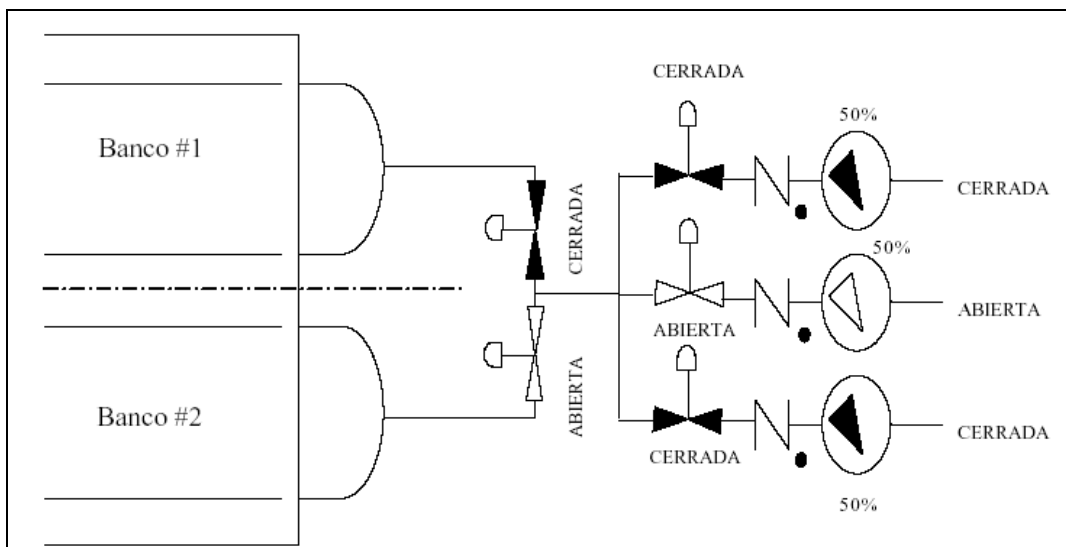


Figura 14-2: Posición válvulas de venteo en funcionamiento sólo con un banco

- Comprobar que no se producen retornos de agua de refrigeración a través de la conexión de salida.
- Abrir los drenajes de las cajas de agua del banco fuera de servicio (BANCO #1) y el resto de los venteos.

Es importante mantener todos los tubos de un mismo banco en igual condición (todos llenos o todos vacíos) para evitar dilataciones diferenciales.

15 BIBLIOGRAFÍA

- ASME (American Society of Mechanical Engineers) (1998): Test Uncertainty 19.1, Global Engineering documents, U.S.A.
- ASME (American Society of Mechanical Engineers) (1998): Performance test code on steam surface condensers PTC 12.2, Global Engineering documents, U.S.A.
- CHASE, David L (2001): Combined cycle development, evolution and future, General Electric Power Systems, Schenectady, NY.
- HEAT EXCHANGE INSTITUTE (2000): Performance standard for liquid ring vacuum pumps, 2nd ed. HEI, Cleveland.
- HEAT EXCHANGE INSTITUTE (2000): Standards for steam surface condensers, 9th ed. HEI, Cleveland.
- MUNTUDAS PRIM Luis, (1974). ASINEL (Asociación de Investigación Industrial Eléctrica). Grupo de trabajo de estudios de explotación de centrales nucleares: Condensación, vacío y refrigeración. Colección de textos sobre centrales termoeléctricas convencionales y nucleares, Grupo C, Volumen 5. ASINEL.
- PETTIGREW, M. J. (1991) "Fluidelastic instability of heat exchanger tube bundles: review and design recommendations" en Journal of pressure vessel technology, Ontario, Canada vol. 113 (mayo) pp 242-256.
- SMITH, R.W. (2001): Advanced technology combined cycles, General Electric Power Systems, Schenectady, NY.

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE
INGENIEROS INDUSTRIALES**

**DISEÑO DE UN CONDENSADOR DE VAPOR
AXIAL PARA UNA CENTRAL DE CICLO
COMBINADO**

DOCUMENTO N° 2 ESTUDIO ECONÓMICO

DIEGO TORRES ARROJO

FEBRERO 2012

1 PRESUPUESTO

El presupuesto realizado para el proyecto que nos ocupa consiste en la descripción de un presupuesto detallado para la fabricación del condensador y verificación de la evolución de la diferencia entre ingresos y gastos a lo largo del tiempo estimado para la fabricación y montaje hasta el momento inmediatamente anterior a la puesta en marcha.

1.1 PRESUPUESTO DEL CONDENSADOR DE VAPOR

El presupuesto del condensador se ha desglosado en varias partidas según los módulos y capítulos de fabricación (ver tabla 1-1).

El desglose general del presupuesto consiste en las siguientes partidas:

- Bancos de tubos.
- Calderería y accesorios.
- Gastos de proyecto.
- Gastos varios.
- Montaje
- Beneficio.

Tabla 1-1: Presupuesto del condensador de vapor

Partida	Precio (€)
Bancos de Tubos	607 701,35
Calderería y accesorios	674 880,00
Gastos del proyecto	226 000,00
Gastos varios	27 000,00
Beneficio (12%)	211 418,65
Precio Total del Condensador	1 747 000,00

Por lo tanto el precio final del condensador será de:

1 747 000,00 €

1.3.1 Presupuesto de banco de tubos

El presupuesto del banco de tubos lo podemos desglosar en las siguientes partidas:

1.3.1.1 Placa tubular

En el caso de la placa tubular el precio final de adquisición, ver tabla 1-2, será la suma del precio de la placa tubular (el precio se obtiene multiplicando el precio por metro cuadrado de material por el área total de la pieza y por el número de placas tubulares) y del taladrado de la misma (donde el precio se obtiene de multiplicar el precio por agujero realizado por el número de agujeros de la placa tubular y el número de placas tubulares)

Tabla 1-2: Presupuesto de las placas tubulares del banco de tubos

Partida	Nº Placas tubulares	Superficie Placa Tubular (m2)	Precio (€/m2)	Precio Placas tubulares
Placas tubulares	4	4,22	3 548	76 890,24

Partida	Nº Placas tubulares	Agujeros Placas tubulares	Precio (€/Agujero)	Precio Placas tubulares
Taladrado Placas tubulares	4	2 656	2,94	31 234,56

Precio total placas tubulares	108 124,80
--------------------------------------	-------------------

1.3.1.2 Placas soporte

Para el cálculo del precio de adquisición de las placas soporte se procederá multiplicando el precio por kilogramo de acero al carbono por el peso de las placas soporte. El precio del taladrado se obtiene al igual que para las placas tubulares (ver tabla 1-3).

Tabla 1-3: Presupuesto de las placas soportes del banco de tubos

Partida	Nº Placas soportes	Peso Placa soporte (Kg)	Precio (€/Kg)	Precio Placas soportes
Placas soportes	24	713,84	1,10	18 845,38

Partida	Nº Placas soportes	Agujeros Placas soportes	Precio (€/Agujero)	Precio Placas soportes
Taladrado Placas soportes	24	2 656	0,41	26 135,04

Precio total placas soporte	44 980,42
------------------------------------	------------------

1.3.1.3 Tubos

El precio calculado para la adquisición de los tubos ha sido realizado a partir del precio unitario, así, el precio obtenido es el resultado de multiplicar el precio por metro de un tubo (el cual depende esencialmente del precio del material utilizado en el mercado, titanio) por el número de tubos existentes en el condensador y por la longitud de los mismos (ver tabla 1-4).

Tabla 1-4: Presupuesto de los tubos del banco de tubos

Partida	Nº de Tubos	Longitud Tubos (m)	Precio (€/m)	Precio Total Tubos (€)
Tubos espesor 0,558 mm	4 834	7,308	5,89	213 336,03
Tubos espesor 0,711 mm	478	7,308	7,43	20 513,50
Precio total tubos				233 849,53

1.3.1.4 Calderería del banco de tubos

En este caso el precio de adquisición se obtiene de multiplicar el precio por kilogramo de la calderería por el peso de la misma (ver tabla 1-5). La calderería estará formada por arriostrados, paredes del banco orejetas de izado, pernos, etc....

Tabla 1-5: Presupuesto de la calderería del banco de tubos

Partida	Peso calderería (Kg)	Precio (€/Kg)	Precio Total calderería (€)
Calderería	11 643	3,242	37 746,60

1.3.1.5 Varios

En este caso el capítulo varios estará formado por el montaje de los haces tubulares, embalaje y transporte marítimo del mismo y al precio destinado a suministros y servicios necesarios (ver tabla 1-6).

Tabla 1-6: Presupuesto de varios del banco de tubos

Partida	Precio Total varios (€)
Varios	183 000,00

Por lo tanto el precio final de los bancos de tubos será de (ver tabla 1-7):

Tabla 1-7: Presupuesto del banco de tubos

Partida	Precio (€)
Placas tubulares	108 124,80
Placas soportes	44 980,42
Tubos	233 849,53
Calderería del banco de tubos	37 746,60
Varios	183 000,00
Precio total de los bancos de tubos	607 701,35

1.3.2 Presupuesto de calderería y accesorios

1.3.2.1 Calderería

En este caso la calderería esta formada por las cajas de agua, pozo de condensados, cuello inferior, junta de expansión, cuello superior y conexiones. En todas las partidas el precio de adquisición se obtiene de la misma manera, multiplicando el peso de cada partida por el precio por kilogramo de las mismas. En este apartado también se incluye el precio del transporte marítimo de cada una de las partidas (ver tabla 1-8).

Tabla 1-8: Presupuesto de la calderería

Partida	Peso partida (Kg)	Precio (€/Kg)	Precio Total partida (€)
Cajas de agua	10 800	4,60	49 680,00
Pozo de condensados	18 000	2,57	46 260,00
Cuello inferior	21 500	3,70	79 550,00
Junta de expansión / Cuello Superior	10 200	5,95	60 690,00
Conexiones	500	5,40	2 700,00
Transporte marítimo			215 000,00
Precio total calderería			453 880,00

1.3.2.2 Accesorios

El precio final de los accesorios se obtiene de sumar el precio de los discos de ruptura, válvula rompedora de vacío, sistema de vacío, misceláneos y repuestos y transporte marítimo de todos estos accesorios (ver tabla 1-9).

Tabla 1-9: Presupuesto de los accesorios

Partida	Precio (€)
Discos de Ruptura	15 000,00
Válvula rompedora de vacío	4 000,00
Misceláneos + repuestos	7 000,00
Sistema de Vacío	130 00,00
Transporte marítimo	65 000,00
Precio total accesorios	221 000,00

Por tanto el precio final de la calderería y accesorios será de (ver tabla 1-10):

Tabla 1-10: Presupuesto de la calderería y accesorios

Partida	Precio (€)
Calderería	453 880,00
Accesorios	221 000,00
Precio Total de calderería y accesorios	674 880,00

1.3.3 Gastos del Proyecto

El precio del proyecto contabiliza el precio de la ingeniería en la que se incluye diseño y delineación, más la gestión del mismo en la que se incluye calidad, contabilidad y compras (ver tabla 1-11).

Tabla 1-11: Presupuesto de gastos del proyecto

Partida	Precio (€)
Ingeniería	190 000,00
Gestión del proyecto	36 000,00
Precio total de gastos del proyecto	226 000,00

1.3.4 Gastos varios

En este capítulo se contabiliza el seguro, avales y financiación del condensador de vapor (ver tabla 1-12).

Tabla 1-12: Presupuesto de gastos varios

Partida	Precio (€)
Seguro	15 000,00
Avales	8 000,00
Financiación	4 000,00
Precio total de gastos varios	27 000,00

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE
INGENIEROS INDUSTRIALES**

**DISEÑO DE UN CONDENSADOR DE VAPOR
AXIAL PARA UNA CENTRAL DE CICLO
COMBINADO**

DOCUMENTO N° 3 ANEXOS

DEIGO TORRES ARROJO

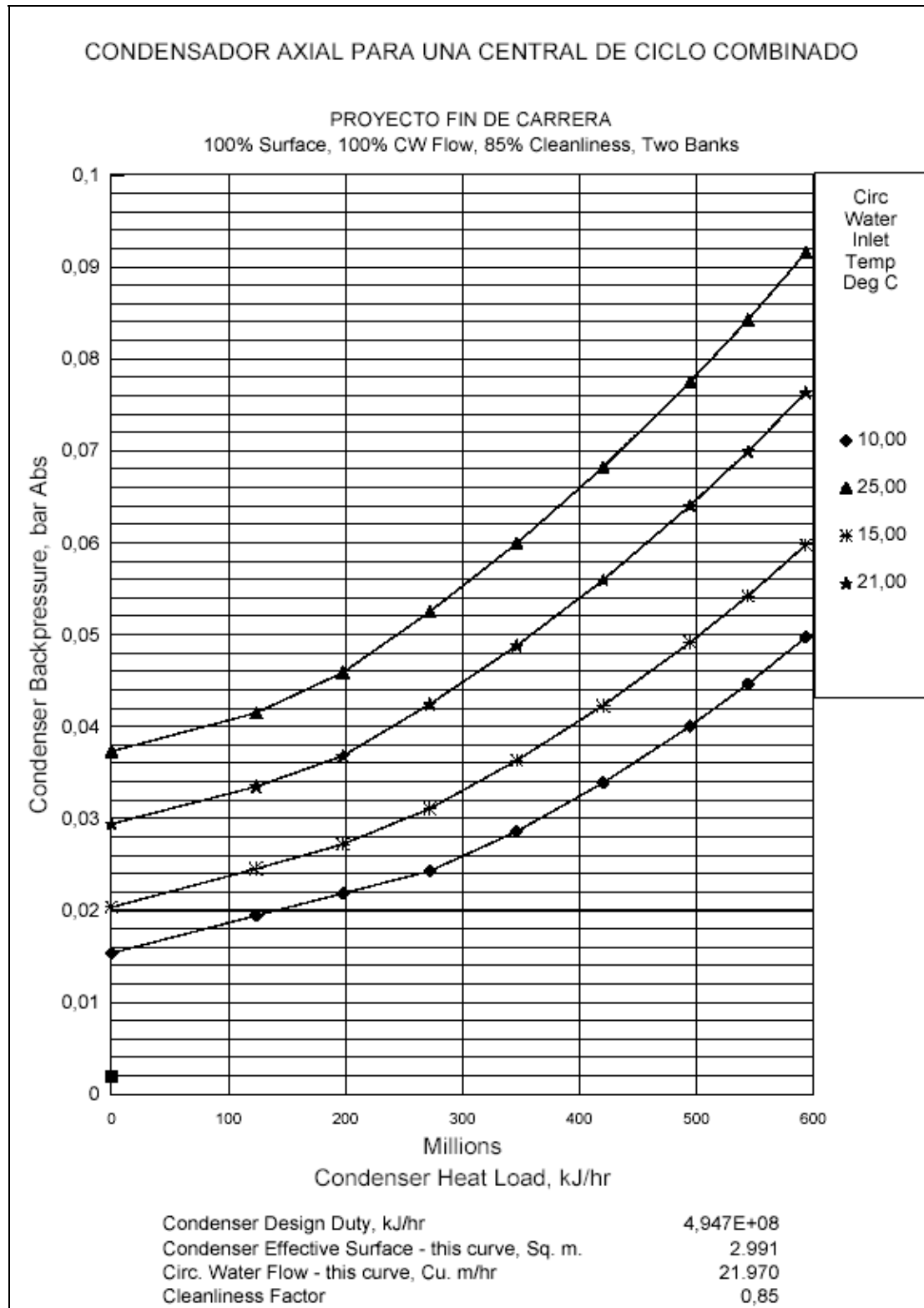
FEBRERO 2012

ANEXO A

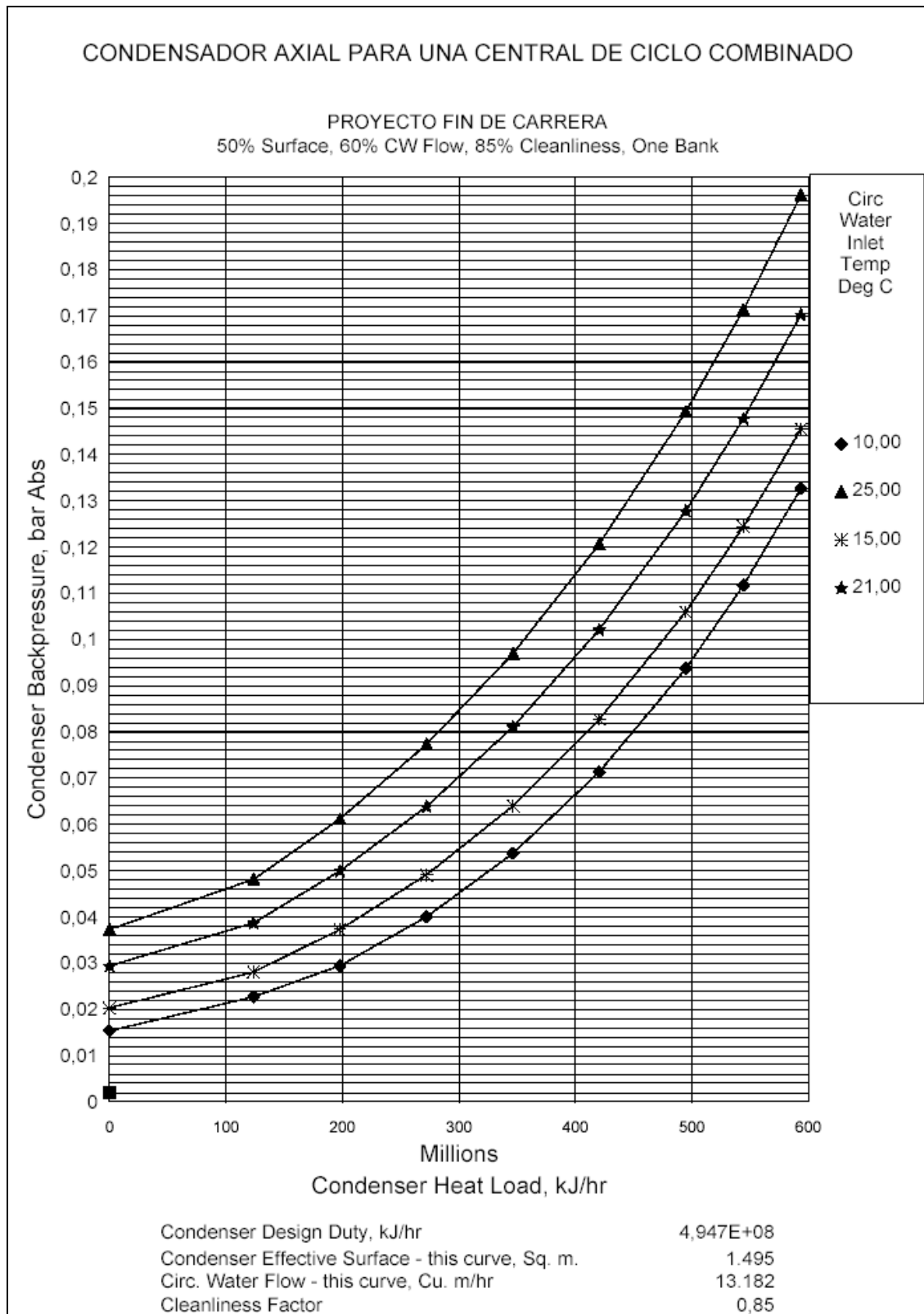
CURVAS DE FUNCIONAMIENTO

A CURVAS DE FUNCIONAMIENTO

A.1 100% SUPERFICIE, 100% AGUA CIRCULACIÓN Y 85% FACTOR DE LIMPIEZA.



A.2 50% SUPERFICIE, 60% AGUA CIRCULACIÓN Y 85% FACTOR DE LIMPIEZA.



ANEXO B

PROCEDIMIENTO PRUEBA DE VACÍO HACES TUBULARES

B PROCEDIMIENTO PRUEBA VACÍO HACES TUBULARES

El presente procedimiento tiene como objeto la descripción del método de realización de la prueba de caja de vacío, para comprobar la eficacia del expandido y/o sellado por soldadura entre los tubos y las placas tubulares.

B.1 DEFINICIONES

- **Bomba de Vacío:** Dispositivo para alcanzar en un recinto confinado una presión inferior a la atmosférica, mediante la extracción de aire del interior del recinto y capaz de alcanzar el valor requerido.
- **Manómetros de Vacío:** Manómetros cuya escala es para valorar presiones inferiores a la atmosférica.
- **Caja de Vacío:** Es un dispositivo rígido de unas medidas determinadas compuesto por un marco metálico con una junta flexible para conseguir una perfecta adaptación a la placa tubular, y una superficie de un material totalmente transparente capaz de resistir el vacío (presión inferior a la atmosférica) por la parte interior de la caja.
- **Tanque Auxiliar:** Es un recipiente al que se conecta la bomba de vacío y a través del cual se efectúa el vacío en la zona a probar.

B.2 PROCEDIMIENTO

B.2.1 Equipo requerido

Para la realización del ensayo con caja de vacío, se dispondrá de los siguientes elementos y equipo:

1. Una bomba de vacío capaz de alcanzar presiones en el recinto de prueba de valor entre $-0,35$ y $-0,6$ bar_r.

2. Dos cajas de vacío.
3. Dos manómetros de vacío.
4. Mangueras de interconexión, válvulas de corte.
5. Agua y energía eléctrica.
6. Tanque auxiliar.

El personal que prepare y ejecute la prueba, estará familiarizado con los equipos a utilizar y su instalación para la prueba.

B.2.2 Ejecución de la prueba

1. Limpiar la zona y los tubos a probar eliminando escorias, virutas, grasas y cualquier otra cosa que pueda interferir con la evaluación de la prueba.
2. Colocar, perfectamente enfrentadas las dos cajas de vacío, una en cada placa tubular del módulo a ensayar, comprobando que los tubos confinados dentro de las cajas son los mismos a uno y otro lado del condensador.

Ajustar las cajas haciendo perfecto contacto en las placas tubulares por la junta elástica y sujetar fuertemente en esa posición.
3. Llenar de agua el volumen interior de los tubos que están dentro de la zona de prueba, así como las cajas de vacío, dejando una pequeña zona sin llenar de agua donde se aloja el aire que se va a proceder a sacar, para obtener el grado de vacío requerido.
4. Conectar la bomba de vacío a las cajas a través del tanque auxiliar intermedio. Cerrar los venteos. Abrir las válvulas de aislamiento de los manómetros y poner en marcha la bomba de vacío, hasta que se alcance el vacío requerido medido por la lectura de los manómetros (entre $-0,35$ y $-0,5$ bar_r). Conseguido el valor necesario, parar la bomba y cerrar válvulas para aislar el recinto en prueba y evitar posibles fugas por las conexiones.

5. Se observarán, a través de la superficie transparente, si se producen columnas de burbujas que denoten alguna fuga (entrada de aire a la zona en prueba) que procedan del interior del tubo o por las soldaduras de sellado entre tubo y placa.

En caso de que se detecten burbujas que sean evaluadas como defectos en tubos o en soldaduras, se procederá a la anotación de su localización para su posterior reparación y repetición de la prueba.

Una vez transcurrido el tiempo necesario para recorrer visualmente todos los tubos y sellados en las dos placas tubulares afectadas por esta prueba, se procederá a romper el vacío en la zona de prueba abriéndose ligeramente la válvula de venteo, y vaciando posteriormente el agua.

Esta prueba se repetirá desplazando la posición de la caja por toda la superficie de las placas tubulares, teniendo en cuenta el solape necesario entre las distintas pruebas, de modo que se asegure que al final del ensayo, el 100% de los tubos han sido sometidos a la prueba de cajas de vacío.

B.3 CRITERIO DE EVALUACIÓN

La prueba será presenciada y evaluada por personal de Control de Calidad.

El área bajo prueba será aceptable cuando no se observen continuos burbujes procedentes de algún punto de la zona.

Cuando tales indicaciones sean observadas, se tomará nota de su inequívoca localización y se marcarán en un plano.

Posteriormente se efectuará la requerida reparación y se procederá a reensayar la zona reparada como se describe en este procedimiento.

ANEXO C

PROGRAMA DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO

C PROGRAMA EJECUCIÓN PROYECTO

PROGRAMA DE EJECUCIÓN CONDENSADOR AXIAL

	Mes															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Semana															
	1															
Documentación Crítica	4															
Definición de Conexiones (Por el Cliente)	13															
INGENIERÍA																
Plano de Fundaciones	4															
Plano General	4															
Conexiones de Bypass	7															
Conexiones de Bombas de Vacío	5															
Curva de Pérdida de Carga	4															
Análisis de Vibraciones	13															
Curvas de Funcionamiento	4															
Placas Tubulares y Soporte	10															
Envolverte	19															
Cuello Inferior	22															
Pozo	22															
Cajas de Agua	22															
ACÓPIO DE MATERIAL																
Tubos	38															
Placas Tubulares	28															
Placas Soporte	14															
FABRICACIÓN																
Taladrado Placas Tubulares	15															
Taladrado Placas Soporte	16															
Calderería Cuerpo	17															
Junta de Expansión / Cuello Superior	28															
Cuello Inferior	28															
Pozo	28															
Cajas de Agua	21															
Engomado	7															
Accesorios	18															
Montaje Haz Tubular Superior	19															
Montaje Haz Tubular Inferior	19															
EMBALAJE / TRANSPORTE																
Cuello Superior / Junta de Expansión																
Preparación	1															
Transporte	3															
Pozo de Condensado + Sumidero																
Preparación	1															
Transporte	3															
Cuello Inferior																
Preparación	1															
Transporte	3															
Cajas de Agua y Haces Tubulares																
Preparación	1															
Transporte	3															

ANEXO D

UTILIDAD DEL CONDENSADOR

D UTILIDAD DEL CONDENSADOR

Considerando una central térmica de producción eléctrica, en ella se encuentra fundamentalmente un generador de vapor y un grupo turboalternador.

Supongamos que:

- La turbina funciona sin extracciones ni recalentamiento de vapor.
- Las características del vapor son: temperatura 500 °C y presión 100 bar.
- Las pérdidas de calor en el circuito agua-vapor son despreciables.

La entalpía del vapor sobrecalentado será: ha igual a 3 375 kJ/kg (según diagrama de MOLLIER).

D.1 LA TURBINA NO TIENE CONDENSADOR

El vapor después de su expansión en la turbina escapa al aire libre (ver figura D-1), su temperatura será del orden de 100 °C y su entalpía H'_e igual a 2 680 kJ/kg.

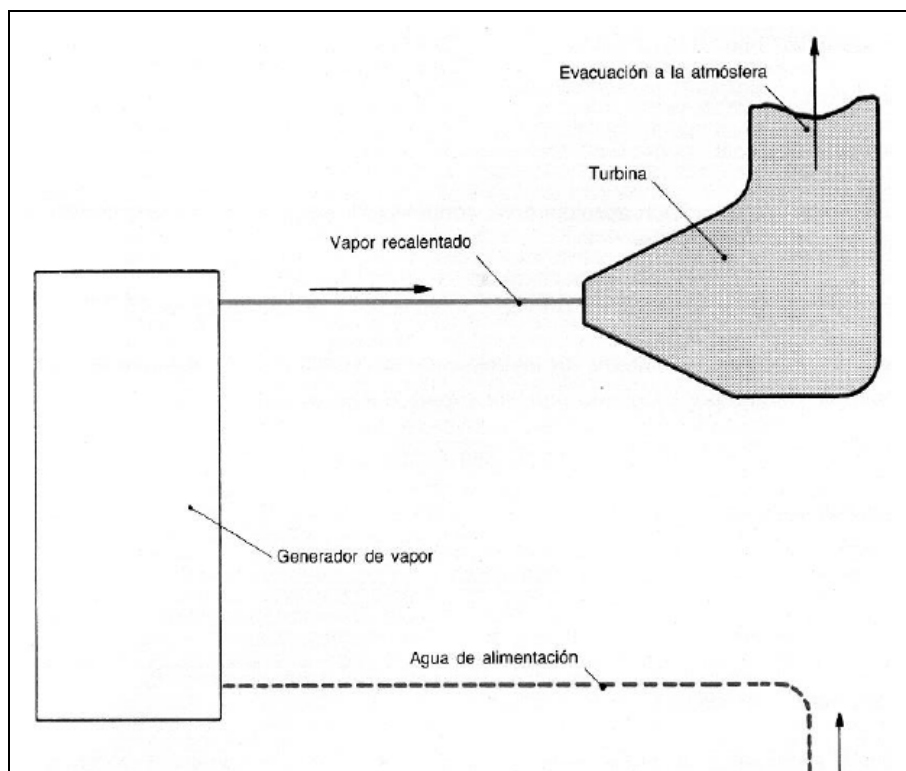


Figura D-1: Ciclo de vapor sin condensador

La cantidad de calor transformado:

$$H_a - H'e = 3\,375 - 2\,680 = 695 \text{ kJ/kg.}$$

Suponiendo que el agua de alimentación tenga en este caso también una entalpía H_e igual a 113 kJ/kg, el rendimiento será:

$$\eta = \frac{\text{calor transformado en energía mecánica}}{\text{calor dado al vapor sobrecalentado}} = \frac{H_a - H'_c}{H_a - H_e} = \frac{695}{3\,262} = 0,21$$

D.2 LA TURBINA POSEE UN CONDENSADOR

El vapor sobrecalentado se expandiona en la turbina y termina en el condensador (ver figura D-2), si la temperatura de entrada al condensador es de 27 °C su entalpía será de:

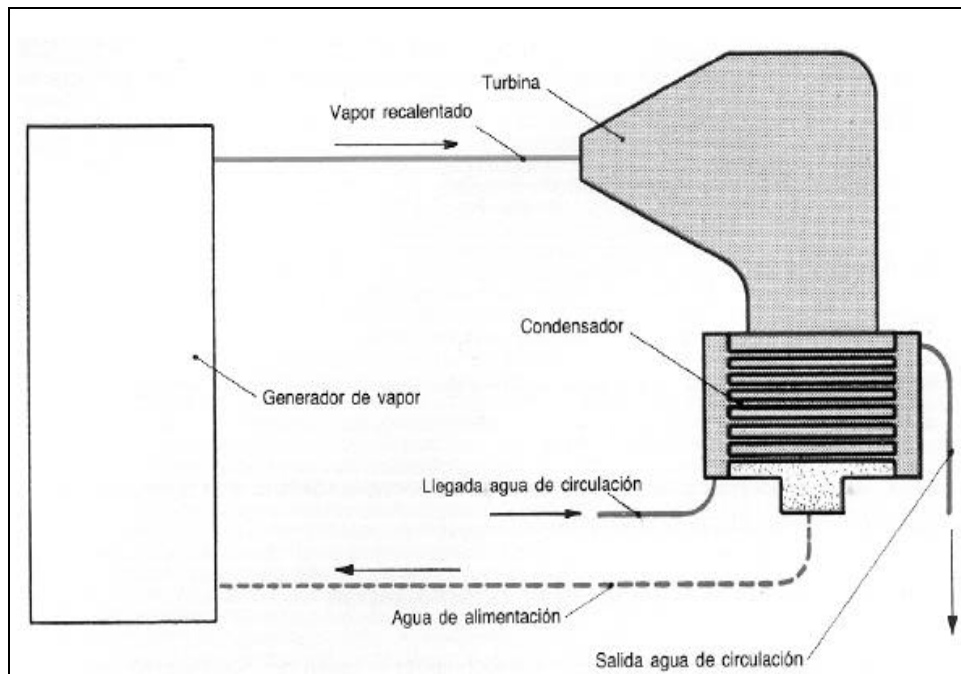


Figura D-2: Ciclo de vapor con condensador

“Hc” igual a 2 211 kJ/kg por tanto la cantidad de calor transformado en energía mecánica por kilogramo de vapor, será:

$$H_a - H_c = 3\,375 - 2\,211 = 1\,164$$

El vapor se condensa en el condensador, el agua condensada que suponemos a 27 °C sirve para alimentar de nuevo la caldera, se cierra así el ciclo agua-vapor. La cantidad de calor empleada por kilogramo de agua para transformarla en vapor sobrecalentado es igual a:

$$H_a - H_e;$$

Siendo He la entalpía del agua de alimentación del generador de vapor.

En nuestro caso: He es igual a 113 kJ/kg;

$$H_a - H_e = 3\,375 - 113 = 3\,262 \text{ kJ/kg.}$$

El rendimiento del ciclo es pues:

$$\eta = \frac{\text{calor transformado en energía mecánica}}{\text{calor dado al vapor sobrecalentado}} = \frac{H_a - H_c}{H_a - H_e} = \frac{1\,164}{3\,262} = 0,35$$

Conclusión:

- La utilización del condensador mejora el rendimiento del ciclo, en el ejemplo escogido pasa del 21 % al 35 %.

El agua condensada sirve para alimentar de nuevo la caldera, si la turbina no tuviera condensador no se recuperaría el agua.

ANEXO E

EQUIVALENCIAS DE UNIDADES

E TABLA DE EQUIVALENCIAS

PREFIXES DENOTING DECIMAL MULTIPLES OR SUBMULTIPLES				
PREFIX	SYMBOL	MULTIPLICATION FACTOR		
micro	μ	0.000 001 = 10^{-6}		
milli	m	0.001 = 10^{-3}		
centi	c	0.01 = 10^{-2}		
deci	d	0.1 = 10^{-1}		
deca	da	10 = 10^1		
hecto	h	100 = 10^2		
kilo	k	1 000 = 10^3		
mega	M	1 000 000 = 10^6		
giga	G	1 000 000 000 = 10^9		
CONVERSION FACTORS				
LENGTH				
MULTIPLY	BY		TO OBTAIN	
in	2.540	$\times 10^{-2}$	m	(SI)
in	2.540	$\times 10^3$	mm	
ft	3.048	$\times 10^{-1}$	m	(SI)
ft	2.540	$\times 10^2$	mm	
AREA				
MULTIPLY	BY		TO OBTAIN	
in ²	6.451600	$\times 10^{-4}$	m ²	(SI)
in ²	6.451600	$\times 10^2$	mm ²	
ft ²	9.290304	$\times 10^{-2}$	m ²	(SI)
ft ²	9.290304	$\times 10^4$	mm ²	
VOLUME				
MULTIPLY	BY		TO OBTAIN	
in ³	1.638706	$\times 10^{-5}$	m ³	(SI)
in ³	1.638706	$\times 10^{-2}$	L	
ft ³	2.831685	$\times 10^{-2}$	m ³	(SI)
ft ³	2.831685	$\times 10^1$	L	
gal	3.785412	$\times 10^{-3}$	m ³	(SI)
gal	3.785412		L	
MASS				
MULTIPLY	BY		TO OBTAIN	
lbm	4.535924	$\times 10^{-1}$	kg	(SI)
FORCE				
MULTIPLY	BY		TO OBTAIN	
lbf	4.448222		N	(SI)
lbf	4.535924	$\times 10^{-1}$	kgf	
kgf	9.806650		N	(SI)
TEMPERATURE				
			K = (°F + 459.67)/1.8	(SI)
			°C = (°F - 32)/1.8	(SI)
			°F = 1.8 K - 459.67	
			°F = 1.8 °C + 32	
ENERGY, WORK OR QUANTITY OF HEAT				
MULTIPLY	BY		TO OBTAIN	
Btu	1.055056	$\times 10^3$	J	(SI)
Btu	2.519958	$\times 10^{-1}$	kcal	
ft·lbf	1.355818		J	(SI)
ft·lbf	3.238316	$\times 10^{-4}$	kcal	

POWER (ENERGY/TIME)			
MULTIPLY	BY	TO OBTAIN	
Btu/hr	2.930711×10^{-1}	W	(SI)
PRESSURE OR STRESS (FORCE/AREA)			
MULTIPLY	BY	TO OBTAIN	
psi	6.894757×10^3	Pa	(SI)
psi	6.894757	kPa	
psi	6.894757×10^{-2}	bar	
psi	7.030696×10^{-2}	kgf/cm ²	
lbf/ft ²	4.788026×10^1	Pa	(SI)
lbf/ft ²	4.788026×10^{-2}	kPa	
lbf/ft ²	4.882428	kgf/m ²	
inHg (32°F)	3.38638×10^5	Pa	(SI)
inHg (32°F)	3.38638	kPa	
inHg (32°F)	3.38638×10^{-2}	bar	
inHg (32°F)	3.45315×10^{-2}	kgf/cm ²	
inHg (32°F)	2.540×10^1	mmHg	
torr (0°C)	1.33322×10^2	Pa	(SI)
torr (0°C)	1.0	mmHg	
ftH ₂ O (39.2°F)	2.98898×10^3	Pa	(SI)
ftH ₂ O (39.2°F)	2.98898	kPa	
ftH ₂ O (39.2°F)	3.047915×10^2	kgf/m ²	
VELOCITY (LENGTH/TIME)			
MULTIPLY	BY	TO OBTAIN	
ft/aec	3.048000×10^{-1}	m/s	(SI)
ft/min	5.080000×10^{-3}	m/s	(SI)
MASS FLOW RATE (MASS/TIME)			
MULTIPLY	BY	TO OBTAIN	
lbm/hr	1.259979×10^{-4}	kg/s	(SI)
lbm/hr	4.535924×10^{-1}	kg/h	
VOLUME FLOW RATE (VOLUME/TIME)			
MULTIPLY	BY	TO OBTAIN	
ft ³ /min	4.719474×10^{-4}	m ³ /s	(SI)
ft ³ /min	1.699011	m ³ /h	
gal/min	6.309020×10^{-5}	m ³ /s	(SI)
gal/min	2.271247×10^{-1}	m ³ /h	
gal/min	3.785412	L/min	
MASS VELOCITY (MASS/TIME-AREA)			
MULTIPLY	BY	TO OBTAIN	
lbm/(hr · ft ²)	1.35623×10^{-8}	kg/(s · m ²)	(SI)
lbm/(hr · ft ²)	4.882428	kg/(h · m ²)	
lbm/(aec · ft ²)	4.882428	kg/(s · m ²)	(SI)
SPECIFIC VOLUME (VOLUME/MASS)			
MULTIPLY	BY	TO OBTAIN	
ft ³ /lbm	6.242797×10^{-2}	m ³ /kg	(SI)
ft ³ /lbm	6.242797×10^1	L/kg	
gal/lbm	8.345406×10^{-5}	m ³ /kg	(SI)
gal/lbm	8.345406	L/kg	

DENSITY (MASS/VOLUME)			
MULTIPLY	BY	TO OBTAIN	
lbm/in ³	2.767990×10^4	kg/m ³	(SI)
lbm/in ³	2.767990×10^1	kg/L	
lbm/ft ³	1.601846×10^1	kg/m ³	(SI)
lbm/ft ³	1.601846×10^{-2}	kg/L	
lbm/gal	1.198264×10^2	kg/m ³	(SI)
lbm/gal	1.198264×10^{-1}	kg/L	
ENTHALPY (ENERGY/MASS)			
MULTIPLY	BY	TO OBTAIN	
Btu/lbm	2.326000×10^3	J/kg	(SI)
Btu/lbm	2.326000	kJ/kg	
Btu/lbm	5.555556×10^{-1}	kcal/kg	
HEAT CAPACITY AND ENTROPY (ENERGY/MASS-TEMPERATURE)			
MULTIPLY	BY	TO OBTAIN	
Btu/(lbm · °F)	4.186800×10^3	J/(kg · K)	(SI)
Btu/(lbm · °F)	4.186800	kJ/(kg · K)	
Btu/(lbm · °F)	1.000000	kcal/(kg · °C)	
THERMAL CONDUCTIVITY (ENERGY-LENGTH/TIME-AREA-TEMPERATURE)			
MULTIPLY	BY	TO OBTAIN	
Btu · in/(hr · ft ² · °F)	1.442279×10^{-1}	W/(m · K)	(SI)
Btu · in/(hr · ft ² · °F)	1.240137×10^{-1}	kcal · m/(h · m ² · K)	
Btu · ft/(hr · ft ² · °F)	1.730736	W/(m · K)	(SI)
Btu · ft/(hr · ft ² · °F)	1.488164	kcal · m/(h · m ² · K)	
DYNAMIC VISCOSITY (MASS/TIME-LENGTH OR FORCE-TIME/AREA)			
MULTIPLY	BY	TO OBTAIN	
cp	1.000000×10^{-3}	Pa · s	(SI)
lbm/(hr · ft)	4.133789×10^{-4}	Pa · s	(SI)
lbm/(hr · ft)	4.133789×10^{-1}	cp	
lbm/(sec · ft)	1.488164	Pa · s	(SI)
lbm/(sec · ft)	1.488164×10^3	cp	
lbf · sec/ft ²	4.788026×10^1	Pa · s	(SI)
lbf · sec/ft ²	4.788026×10^4	cp	
HEAT FLUX DENSITY (ENERGY/TIME-AREA)			
MULTIPLY	BY	TO OBTAIN	
Btu/(hr · ft ²)	3.154591	W/m ²	(SI)
Btu/(hr · ft ²)	2.712460	kcal/(h · m ²)	
HEAT TRANSFER COEFFICIENT (ENERGY/TIME-AREA-TEMPERATURE)			
MULTIPLY	BY	TO OBTAIN	
Btu/(hr · ft ² · °F)	5.678263	W/(m ² · K)	(SI)
Btu/(hr · ft ² · °F)	4.882428	kcal/(h · m ² · K)	
FOULING RESISTANCE (TIME-AREA-TEMPERATURE/ENERGY)			
MULTIPLY	BY	TO OBTAIN	
hr · ft ² · °F/Btu	1.761102×10^{-1}	m ² · K/W	(SI)
hr · ft ² · °F/Btu	2.048161×10^{-1}	h · m ² · K/kcal	

METRIC CONVERSION FACTORS			
NOMENCLATURE			
NAME		SYMBOL	OTHER UNITS
inch/inches		in	
foot/feet		ft	
meter	(SI)	m	
millimeter		mm	
square inch		in ²	
square foot		ft ²	
square meter	(SI)	m ²	
square centimeter		cm ²	
square millimeter		mm ²	
cubic inch		in ³	
cubic foot		ft ³	
gallon (U.S. liquid)		gal	
cubic meter	(SI)	m ³	
liter		L	
pound mass (avoirdupois)		lbm	
kilogram	(SI)	kg	
pound force (avoirdupois)		lbf	
kilogram force		kgf	
newton	(SI)	N	m · kg/s ²
degree Fahrenheit		°F	
kelvin	(SI)	K	
degree Celsius	(SI)	°C	
British thermal unit (International Table)		Btu	
kilocalorie (International Table)		kcal	
joule	(SI)	J	N · m, m ² · kg/s ²
kilojoule		kJ	
second (customary)		sec	
second	(SI)	s	
minute		min	
hour (customary)		hr	
hour (metric)		h	
watt	(SI)	W	J/s, N · m/s, m ² · kg/s ³
pound force/square inch		psi	lbf/in ²
inches of mercury		in Hg	
feet of water		ft H ₂ O	
pascal	(SI)	Pa	N/m ² , kg/(m · s ²)
kilopascal		kPa	
bar		bar	
millimeter of mercury		mmHg	
torr		torr	
centipoise		cp	
Notes:			
1. (SI) Denotes an "International System of Units" unit.			
2. Pressure should always be designated as <i>gage</i> or <i>absolute</i> .			
3. The acceleration of gravity, <i>g</i> , is taken as 9.80665 m/s ² .			
4. One gallon (U.S. liquid) equals 231 in ³ .			

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE
INGENIEROS INDUSTRIALES**

**DISEÑO DE UN CONDENSADOR DE VAPOR
AXIAL PARA UNA CENTRAL DE CICLO
COMBINADO**

**DOCUMENTO N° 4 PLIEGO DE
CONDICIONES**

DEIGO TORRES ARROJO

FEBRERO 2012

1 PLIEGO DE CONDICIONES

1.1 CONDICIONES GENERALES DE OFERTA

1.1.1 Documentación

El comprador deberá facilitar a la empresa fabricante del condensador en el momento oportuno, toda la información, instrucciones y planos necesarios para la ejecución del encargo.

La empresa constructora del condensador no tendrá obligación de facilitar más planos que los generales de disposición necesarios para el trabajo, lo que efectuará a la mayor brevedad y el comprador o sus representantes deberán verificarlos, aprobarlos y devolvérselos sin demora.

1.1.2 Equipos fabricados por otros

Cuando la empresa fabricante del condensador mencione varios fabricantes o proveedores de un artículo específico del equipo, o cuando se haga constar o "equivalente", el derecho a escoger el fabricante o suministrador de tal artículo del equipo queda reservado.

1.1.3 Códigos

El equipo, objeto de esta oferta, se diseña según el código ASME de condensadores y las normas y reglamentos españoles en vigencia en la fecha de esta oferta, sin incluir exigencias ecológicas y de códigos de seguridad salvo indicación contraria contenida en otros apartados de la oferta.

Si es necesario efectuar cambios en el equipo con objeto de cumplir con modificaciones posteriores del código o de las normas, o con nuevas disposiciones, el comprador deberá informar a la empresa fabricante del condensador, de tales modificaciones y deberá reembolsarle el coste de los cambios realizados por esta sociedad.

1.1.4 Licencias y aprobación de planos y especificaciones

Queda acordado que, si la legislación o las disposiciones vigentes exigen licencias para la instalación del equipo que se contrate, o la aprobación de los planos y especificaciones para esa instalación, el comprador asume la responsabilidad de la obtención de las citadas licencias y aprobaciones y del pago de los derechos exigidos. El fabricante del condensador facilitará al comprador cuantos planos, datos o cálculos justificativos le fueran exigidos para dichos trámites. Si fueran necesarias modificaciones en el equipo que se contrate para el cumplimiento de los requisitos exigidos para su aprobación o de los que se exigieran posteriormente, el comprador deberá informar a la empresa fabricante del condensador y deberá reembolsarle el importe de las modificaciones realizadas por esta sociedad.

La obtención de la aprobación del proyecto por el organismo correspondiente será a cargo de la empresa fabricante del condensador.

1.1.5 Producción del generador

Siempre que en las especificaciones u otros documentos aparezcan los términos "servicio continuo" o términos de similar significado, tales términos no se considerarán como una garantía de la disponibilidad de la unidad.

1.1.6 Reglamentos de seguridad (equipo/materiales)

El intercambiador de calor y los equipos auxiliares suministrados por la empresa constructora del condensador cumplirán con todos los reglamentos de seguridad, estatales o locales, correspondientes al caso y vigentes en la fecha de esta oferta.

La empresa constructora del condensador suministrará equipos de amortiguación de ruidos, a petición, como silenciadores de válvulas de seguridad, envolventes antisonoras de entrada de ventiladores y similares. Sin embargo, la empresa constructora del condensador no asume ninguna responsabilidad respecto al cumplimiento de las normas de seguridad relacionadas con niveles de ruido.

Si es necesario efectuar cambios en el equipo que se contrate, con objeto de cumplir con normas de seguridad promulgadas con posterioridad a la fecha de esta oferta o con

modificaciones de las actuales, el comprador deberá informar a la empresa fabricante del condensador de tales modificaciones y deberá reembolsarle el coste de los cambios realizados por esta sociedad. La obligación de la empresa fabricante del condensador según este apartado, concluye al expirar el período de garantía contractual.

En ningún caso la empresa fabricante del condensador es responsable del trabajo y/o equipo suministrado por terceros, que llegue a formar parte integrante de la instalación, y que no esté de conformidad con tales normas de seguridad. A estos efectos, el comprador se compromete a mantener a la empresa fabricante del condensador al margen de responsabilidad de cualquier tipo.

1.1.7 Inspecciones y pruebas

Las pruebas de materiales y partes del equipo y las inspecciones normales de fabricación se harán en los talleres de la empresa fabricante del condensador, o en los de nuestros subcontratistas y proveedores, utilizando las normas españolas y las de ASME.

En el caso de que se acordara la intervención de alguna sociedad clasificadora los gastos originados por esta inspección irían a cargo del comprador.

1.1.8 Fundaciones

La empresa fabricante del condensador deberá facilitar al comprador planos generales de disposición presentando al equipo en relación con las fundaciones, incluyendo diagramas de cargas e indicación de la posición de los pernos de anclaje en dichas fundaciones. La empresa fabricante del condensador no es responsable de la profundidad, del tamaño o de la corrección de las fundiciones, ni de la índole de los materiales escogidos para tales construcciones. El comprador deberá disponer, en el lugar de la obra y en tiempo oportuno, unas fundaciones adecuadas, cuyas dimensiones en planta concuerdan con aquellos planos incluyendo pernos de anclaje y placas, obra en hormigón, consolidación del terreno y excavación. La empresa fabricante del condensador no será responsable de los daños originados a consecuencia de defectos o hundimiento de las fundaciones.

1.1.9 Patentes

La empresa fabricante del condensador defenderá a sus expensas cualquier reclamación, pleito o acto jurídico seguido contra el comprador, que se base en una reclamación por la cual el equipo que se contrate, o parte del mismo, constituye una infracción de cualquier patente registrada en España, siempre que haya recibido notificación puntual escrita del comprador y éste le conceda la autorización necesaria y le facilite la información y asistencia precisa para la defensa, abonando todas las costas que puedan resultar a cargo del comprador en tal caso. Si en la resolución del pleito se declara que el equipo, o alguna parte del mismo, constituye una infracción de patente y se prohíbe su uso, el fabricante del condensador deberá a su elección y a su cargo, ya sea obtener para el comprador el derecho de continuar utilizando dicho equipo, o reemplazarlo por otro equipo que no constituya infracción, o modificarlo hasta que no constituya infracción o retirar dicho equipo y reintegrar el precio de compra y los gastos de transporte e instalación del mismo.

1.1.10 Notificación de reclamaciones

El comprador deberá informar inmediatamente a la empresa fabricante del condensador por correo certificado, de todas las reclamaciones presentadas contra el comprador en las que el fabricante del condensador pueda tener responsabilidad. La empresa fabricante del condensador deberá informar al comprador inmediatamente y por correo certificado, de todas las reclamaciones presentadas contra ella de las que el comprador pueda ser responsable.

1.1.11 Cargos y descuentos

El fabricante del condensador no aceptará cargo ni concederá descuento alguno por materiales o mano de obra suministrados, o reparaciones o cambios efectuados por el comprador o terceros sin la previa autorización escrita del fabricante del condensador.

1.1.12 Gastos de transporte

Si el comprador se responsabiliza del transporte, los portes desde los talleres de la empresa fabricante del condensador o los de sus subcontratistas y proveedores hasta el punto de destino, serán a cargo del comprador, quien determinará y controlará el tipo de

transporte y la ruta a seguir.

Si el contrato estipula que el transporte es responsabilidad del fabricante del condensador con portes a su cargo y se producen alteraciones en los gastos relacionados con el transporte con anterioridad a la fecha de envío, el precio contractual será reajustado en función del aumento o disminución atribuible a aquellas alteraciones.

La descarga, elevación y manutención entre el lugar de entrega de la empresa transportista en el punto de destino y el lugar del montaje, serán a cargo del comprador, salvo que el contrato estipule otra cosa.

1.1.13 Protección del equipo

Cuando el equipo esté preparado para su envío y éste sea diferido o suspendido por el comprador, cualquiera que sea la causa, el comprador deberá disponer el almacenaje del equipo correspondiente fuera de los talleres del fabricante del condensador, y asumirá el riesgo de pérdidas o daños, haciéndose cargo de todos los gastos relacionados con el almacenaje y con el nuevo acondicionamiento.

1.1.14 Título de propiedad

La propiedad del equipo a que se refiera el contrato pasará al comprador en el acto de la entrega si se ha satisfecho su importe, o cuando está totalmente pagado.

1.1.15 Responsabilidad por demora en el suministro/montaje

La empresa fabricante del condensador no tendrá responsabilidad alguna por demoras en el suministro, ni por las pérdidas o daños resultantes de dichas demoras, cuando sean atribuibles a incendio, inundaciones, embargos, conflictos laborales, disturbios, robos, accidentes, disposiciones gubernamentales, retraso en la aprobación de la resolución particular, imposibilidad de obtener la mano de obra, materiales, componentes, energía o transportes necesarios, cambios en el encargo, retrasos de pequeños materiales auxiliares que no entorpezcan el montaje ni la puesta en marcha, rechazos inevitables de piezas importantes debidamente comprobados por el comprador, retraso en la recepción de la documentación o información necesaria para los trabajos que haya de facilitar el comprador o sus representantes, reducciones oficiales de la jornada de trabajo, retraso

por parte del comprador o su transportista en la retirada a su debido tiempo de los fabricados que ocupen espacio destinado a fabricación o a cualquier otra causa que se halle fuera de control razonable de la empresa fabricante del condensador y fuera independiente de su voluntad y que pudiera retrasar o impedir la entrega o el montaje del equipo que se contrate, tanto si afecta a la empresa fabricante del condensador como a sus subcontratistas o proveedores.

Cuando se produzcan los hechos anteriores, el plazo de entrega se considerará prorrogado en el período de tiempo en que hayan afectado al suministro.

1.1.16 Limitación de responsabilidad

La empresa fabricante del condensador y/o subcontratistas no tendrán responsabilidad contractual, implícita, de garantía u otra, por cualesquiera daños indirectos, incidentes o derivados como los que seguidamente se indican a simple título enunciativo pérdida de beneficios o rentas previstas: pérdida de la utilización de la instalación; paro, fallo del funcionamiento o aumento del coste de funcionamiento de otros equipos; costes de capital; coste del vapor o de la energía de reemplazo; reclamaciones de clientes del comprador a causa de interrupciones del servicio, etc.

1.1.17 Riesgo de pérdidas o daños

El riesgo de pérdidas o daños al equipo a suministrar pasará al comprador tan pronto la empresa fabricante del condensador o sus subcontratistas o proveedores hayan hecho entrega del equipo, o de alguna parte del mismo, a una empresa transportista en el punto de origen, en el caso de entregas franco vehículo en el punto de origen, o cuando el equipo llegue a su destino, en el caso de entregas sobre vehículo en el punto de destino.

A partir de la fecha en que, según lo estipulado anteriormente, el riesgo de pérdidas o de daños al equipo pase al comprador, éste será el único responsable de la conservación y custodia del equipo y de cualquier daño que pueda producirse durante el transporte, descarga, almacenaje, instalación o funcionamiento, cualquiera que sea la causa.

En todas las pólizas de seguro por daños al equipo que contrate desde esa fecha, el comprador deberá obtener la renuncia de la compañía aseguradora a la subrogación para

la reclamación de los daños a la empresa fabricante del condensador. Asimismo, el comprador deberá mantener a la empresa fabricante del condensador libre de cualquier perjuicio por daños al equipo, incluyendo los resultantes de reclamaciones por no haber obtenido la renuncia de subrogación.

Si la empresa fabricante del condensador monta el equipo suministrado y el comprador exige que acepte el riesgo de pérdidas durante el período de montaje, lo dispuesto en este epígrafe respecto a riesgo de pérdidas y daños, deberá estar vigente hasta el término del "período de riesgo de pérdidas" y a tenor de lo dispuesto en el contrato de montaje.

1.1.18 Seguros

La empresa fabricante del condensador deberá contratar y mantener a sus costas hasta completar el encargo, las siguientes clases de seguro:

- De accidentes del trabajo para sus propios empleados.
- De responsabilidad civil general, incluyendo la de sus subcontratistas, cubriendo daños corporales, incluso muerte y daños materiales hasta el límite de 500 millones de pesetas por cada siniestro.

1.1.19 Indemnizaciones

La empresa fabricante del condensador será responsable de cualquier daño o perjuicio por razón de la responsabilidad que la ley le imponga, por estos conceptos: a) a consecuencia de daños personales, incluso muerte en cualquier fecha cuando se derive tales daños, sufridos accidentalmente por cualquier persona o personas y/o b) a consecuencia de daños accidentales o destrucción de propiedades, distintas de las que sean sujeto del contrato que se establezca y que hayan ocurrido con anterioridad al término de los trabajos a que se refiera el mismo. La empresa fabricante del condensador deberá indemnizar y mantener exento al comprador de la responsabilidad y gastos resultantes de los daños y perjuicios que puedan ocurrir exclusivamente a causa de un acto de negligencia u omisión de la empresa fabricante del condensador de sus empleados, sus representantes o sus subcontratistas.

La responsabilidad de la empresa fabricante del condensador por los daños producidos a los bienes o propiedades del comprador o propiedades de las que el comprador es responsable, con exclusión de las que sean sujeto del contrato quedará concretada al

pago de la prima de los seguros cuya contratación se exija con arreglo a los términos del contrato y en ningún caso se comprenderán los daños indirectos y otros detallados en el epígrafe "Limitación de responsabilidad". El comprador liberará de responsabilidad a la empresa fabricante del condensador y se compromete a indemnizarla por todas las reclamaciones o perjuicios que excedan de aquellas limitaciones aunque están originadas fuera de contrato o garantía o provenga de negligencia, responsabilidad estricta, indemnidad o de cualquier otra manera por otra causa.

1.1.20 Funcionamiento preliminar

Con respecto a todas las operaciones preliminares y demostraciones de capacidad, rendimiento y demás extremos garantizados, los representantes de la empresa fabricante del condensador sólo están autorizados a asesorar y aconsejar al comprador o a sus representantes, pero no lo están para hacer funcionar el equipo. Cuando el comprador haga funcionar el equipo especificado en el contrato con anterioridad a la aceptación definitiva se obliga a mantener a la empresa fabricante del condensador libre de indemnizarla en su caso de toda clase de perjuicios y gastos y de cualquier responsabilidad que pueda serle impuesta por daños personales o a la propiedad, incluyendo el equipo suministrado por el fabricante del condensador excepto aquellos perjuicios, gastos o responsabilidades por daños personales o materiales resultantes de actos de negligencia u omisiones de la empresa fabricante del condensador sus representantes o empleados.

1.1.21 Garantías

1.1.21.1 Material y ejecución

La empresa fabricante del condensador se compromete a que el equipo por ella suministrado estará exento de defectos de ejecución y en los materiales empleados y en consecuencia lo garantiza contra todo defecto de ejecución o de materiales durante un año a contar desde la sincronización inicial de la turbina o desde que el equipo está dispuesto para entrar en servicio, siendo condición indispensable que el montaje en obra sea realizado con la presencia de un supervisor de la empresa fabricante del condensador y por su personal especializado o bien el de empresas instaladoras de su confianza, así como que los repuestos sean suministrados por ella. Si dentro de dicho período de garantía, el comprador informa a la empresa fabricante del condensador de

cualquier fallo en el cumplimiento de la garantía, una vez recibida puntual notificación del mismo y siempre que el equipo haya sido almacenado, instalado o montado, mantenido y explotado de acuerdo con procedimientos industriales correctos y atendiendo las recomendaciones específicas de la empresa fabricante del condensador esta sociedad procederá a sus expensas a corregir el fallo o defecto de que se trate suministrando franco vehículo una pieza de repuesto, o bien a su opción, reparando la pieza defectuosa en la obra o en sus talleres. Los defectos de corrosión, erosión y desgaste normal quedan específicamente excluidos de la anterior garantía.

1.1.21.2 Funcionamiento

Las garantías específicas de funcionamiento que concede la empresa fabricante del condensador están contenidas en la garantía de funcionamiento de su oferta técnica.

La empresa fabricante del condensador con objeto de cumplir su compromiso con arreglo a dichas garantías, notificará que el equipo suministrado está preparado para efectuar pruebas por parte del comprador, a fin de que éste verifique, de acuerdo con las normas ASME, si se cumplen o no las condiciones garantizadas de funcionamiento.

El equipo se considerará aceptado por el comprador y la responsabilidad total de la empresa fabricante del condensador quedará cumplimentada en relación con estas garantías si dichas pruebas demuestran que el equipo cumple las garantías específicas de funcionamiento o si el equipo no ha sido sometido a esas pruebas dentro del período de garantía. Si de las pruebas resulta incumplimiento de las garantías de funcionamiento, la empresa fabricante del condensador se reserva el derecho de modificar o reemplazar el equipo suministrado con el fin de obtener el funcionamiento garantizado. Respecto a las garantías de funcionamiento correspondientes a exigencias ecológicas, el comprador se compromete a dejar a la disposición de la empresa fabricante del condensador dentro de un tiempo razonable, considerando las exigencias de servicio del comprador, con objeto de que puedan efectuarse las modificaciones o adiciones necesarias para conseguir que el equipo cumpla con dichas garantías. El incumplimiento del compromiso de dejar el equipo a disposición de la empresa fabricante del condensador dentro del tiempo indicado constituirá expresa renuncia del comprador a dichas garantías de funcionamiento.

Las garantías de funcionamiento concedidas por la empresa fabricante del condensador no deben ni pueden interpretarse como una exigencia que imponga a esta sociedad la obligación de tramitar los permisos, licencias o aprobaciones de cumplimiento por el equipo de los códigos o normas dictados por cualquier autoridad de control de contaminación u otra autoridad gubernativa.

1.1.21.3 Trabajos correctivos

Cuando sea preciso efectuar trabajos para cumplir las garantías otorgadas en los anteriores párrafos A o B de este epígrafe, la empresa fabricante del condensador se hará cargo del coste de dicho trabajo en las siguientes condiciones:

- Si las reparaciones se realizan en horas extraordinarias o a base de varios turnos de trabajo a petición del comprador, el coste del sobreprecio de las horas extraordinarias o el mayor coste del trabajo por turnos, así como los gastos generales y las horas hombre improductivas, relacionadas con tal trabajo en horas extraordinarias o en turnos, serán por cuenta y a cargo del comprador.
- Los trabajos de corrección de alguna parte del equipo suministrado no comportarán para la empresa fabricante del condensador la obligación de desmontar, suministrar o instalar de nuevo cualesquiera equipos que no hayan formado parte originalmente del alcance de su suministro, tales como las fundaciones, el cableado, los motores, etc.

1.1.21.4 Generalidades

La empresa fabricante del condensador no será responsable, ni admitirá cargo alguno por equipos o materiales suministrados o trabajos, reparaciones y cambios efectuados por el comprador o terceros, a no ser que previamente hubiere mediado su aprobación escrita al comprador.

Respecto a los equipos auxiliares y otros aparatos suministrados por la empresa fabricante del condensador incluidos en la oferta, esta sociedad será responsable de la apropiada selección de los mismos y de las exigencias de las especificaciones de compra. Las garantías de tales equipos y aparatos quedan limitadas a las concedidas por los proveedores a favor de la empresa fabricante del condensador.

1.1.22 Límite de validez de la oferta

El precio y las condiciones contenidas en esta oferta requieren la aceptación del comprador dentro de un periodo de treinta días a partir de la fecha de la presente salvo estipulación distinta que se contenga en la oferta económica, con la salvedad de que la empresa fabricante del condensador tendrá el derecho de retirar esta oferta en cualquier momento con anterioridad a la aceptación formal de la misma por el comprador y a la conformidad escrita del pedido efectuada por un representante de la empresa fabricante del condensador.

1.1.23 Supervisor de montaje

El supervisor de montaje actuará exclusivamente como consultor o consejero en la interpretación de planos y especificaciones y, a petición y cuando fuere necesario, hará recomendaciones sobre los métodos del montaje del equipo suministrado por el constructor, no siendo responsable de la contratación de la mano de obra ni de la calidad del trabajo mecánico efectuado por otros.

El supervisor de montaje se presentará al servicio en la fecha solicitada por el comprador, siempre que éste lo solicite por escrito a la empresa fabricante del condensador con 15 días de anticipación a la fecha requerida. Esta notificación del comprador significará que el equipo, el lugar de montaje y las fundaciones estarán dispuestos para iniciar el montaje a la llegada del supervisor. La semana normal de trabajo será de 8 horas diarias, incluyendo las horas trabajadas en sábados, domingos y días festivos que solicite por escrito el comprador, se considerarán horas extraordinarias y el comprador las abonará con un sobreprecio del 100%.

El comprador facilitará el espacio de oficina, adecuadamente atemperado, equipo de oficina y aparcamiento que pudiese necesitar el representante del constructor.

Los servicios del supervisor de montaje serán facilitados de acuerdo con las condiciones económicas contenidas en esta oferta. Si el pedido de estos servicios no se recibe junto con el pedido del equipo la empresa fabricante del condensador se reserva el derecho de facturar las tarifas vigentes en el momento de recibir el pedido de dichos servicios. Por

cada semana o fracción de la misma se facturarán como mínimo 5 días por cada supervisor.

Cualquier inspección o supervisión del montaje por personal representante del proveedor de los equipos auxiliares incluidos en el alcance del suministro de la empresa fabricante del condensador será por cuenta del comprador.

La empresa fabricante del condensador adquirirá estos servicios por cuenta del comprador.

Si el comprador requiere personal técnico adicional, como especialistas en soldadura, control de calidad o radiográfico, se le podrán facilitar en base a las tarifas vigentes en la época en que se efectúen dichos servicios más los gastos de viaje y dietas correspondientes.

1.1.24 Supervisor de puesta en marcha

El supervisor de puesta en marcha actuará como consultor y consejero del personal de operación del comprador para el apropiado funcionamiento del equipo durante la puesta en marcha y la operación inicial. Dichos servicios incluirán el entrenamiento de operadores y del personal de mantenimiento del comprador, pero no incluirán la conducción del equipo, pues ningún representante de la empresa fabricante del condensador está autorizado para hacerlo funcionar.

La semana laboral normal será de 8 horas diarias de lunes a viernes, excluyendo los días festivos legales. Las horas en exceso sobre las 8 diarias, incluyendo las horas trabajadas en sábados, domingos y días festivos, que solicite por escrito el comprador se considerarán horas extraordinarias y el comprador las abonará con un sobreprecio del 100%.

Si el comprador requiere supervisión de puesta en marcha durante las 24 horas del día, a base de turnos, dichos servicios serán suministrados por un período que no exceda de 4 semanas continuas. Los servicios del supervisor de puesta en marcha serán facilitados de acuerdo con las condiciones económicas contenidas en esta oferta. Si el pedido de

estos servicios no se recibe junto con el pedido del equipo la empresa fabricante del condensador se reserva el derecho de facturar las tarifas vigentes en el momento de recibir el pedido de dichos servicios. La factura mínima será por medio día de servicio.

Para el equipo auxiliar, suministrado por el fabricante del condensador, pero fabricado por otros, esta sociedad podrá determinar que la supervisión correspondiente a realizar durante la puesta en marcha y entrenamiento del personal, sea efectuada por un representante del fabricante de aquellos equipos auxiliares y todos los gastos asociados con dicho servicio especializado irán a cargo del comprador. Estos gastos incluirán, pero no se limitarán a, tarifas diarias, dietas, viajes y comunicaciones telefónicas y cablegráficas, según sean necesarias.

1.2 CONDICIONES GENERALES DE COMPRA

1.2.1 Aplicación

Las presentes condiciones generales regirán y serán de aplicación en todas las ordenes de compra de la empresa fabricante del condensador para la adquisición de materiales, equipos y servicios, excepto aquellos puntos que sean modificados en la orden de compra.

Todos los términos y condiciones expuestos en la oferta del suministrador o anexos a la misma quedan expresamente excluidas y sin validez, excepto aquellas que sean específicamente aceptadas y citadas en la orden de compra.

1.2.2 Objeto del pedido

El objeto de la orden de compra es el suministro en las condiciones aquí establecidas de los materiales, equipos y los trabajos o servicios que la empresa fabricante del condensador adquiere en virtud de la misma.

En el objeto de la orden de compra definida para cada caso en los documentos de la misma, se consideran implícitamente incluidas además todas las prestaciones que se deriven de la ley y los usos, así como las que se establecen en estas condiciones generales.

Los materiales y equipos, así como, en su caso, los trabajos y servicios objeto de la orden de compra estarán en estricto acuerdo con las especificaciones técnicas establecidas para su definición, las instrucciones que el fabricante del condensador curse al suministrador y los requerimientos de las reglamentaciones y requisitos oficiales de la legislación española que estén o entren en vigor hasta la entrega del objeto de la orden de compra, sin que el suministrador pueda exigir por este motivo ninguna revisión de precio.

El objeto de la orden de compra comprende, además de los materiales y equipos y, en su caso, trabajos y servicios que en ella se detallen, todo cuanto sea necesario para su utilización y perfecto funcionamiento, de acuerdo con las especificaciones técnicas establecidas en su definición y los reglamentos aplicables.

El suministrador no podrá efectuar ninguna modificación del objeto de la orden de compra, sin la previa aceptación por escrito de la empresa fabricante del condensador.

1.2.3 Cesión y subcontratación

El suministrador no podrá ceder la orden de compra parcial o totalmente, ni subcontratar parcial o totalmente los materiales y equipos objeto de la misma sin la previa y expresa autorización por escrito de la empresa fabricante del condensador.

Esta autorización por la empresa fabricante del condensador no implicará el nacimiento de vínculo contractual entre la empresa fabricante del condensador y los subcontratistas del suministrador, por lo que éste será el único responsable de la actuación de dichos subcontratistas y del cumplimiento de todas las obligaciones que se derivan de esta orden de compra.

1.2.4 Fabricación, inspección y control de calidad

1.2.4.1 Fabricación

Los requisitos de fabricación aplicables, en su caso, se definen en las especificaciones técnicas de la orden de compra.

El suministrador remitirá a la empresa fabricante del condensador en un plazo inferior a

quince días a partir de la orden o carta de intención tres copias de los procedimientos y documentación relativa a la fabricación y del programa de fabricación, en el que se cubrirán como mínimo los siguientes puntos:

- Diseños.
- Compras.
- Acopio de materiales.
- Fabricación.
- Entregas.

1.2.4.2 Inspección y control de calidad

Los requisitos de control de calidad aplicables, en su caso, se definen en las especificaciones técnicas de la orden de compra. Como anexo a la orden de compra se incluyen las condiciones generales de control de calidad e inspección que complementan las anteriores o, en su defecto, las sustituyen.

El suministrador enviará a la empresa fabricante del condensador para su aprobación, en un plazo inferior a treinta días a partir de la orden de compra o carta de intención y, en cualquier caso, antes de iniciar la fabricación, tres ejemplares de su plan de control de calidad y el programa de puntos de inspección. Para la realización del programa de puntos de inspección se utilizarán los modelos incluidos como anexo a la orden de compra.

Al finalizar la fabricación, el suministrador enviará a la empresa fabricante del condensador seis ejemplares del informe final de control de calidad. Este comprenderá como mínimo la siguiente documentación:

- Programa de puntos de inspección aprobado y cumplimentado.
- Certificados de calidad de materiales.
- Certificados de ensayos realizados.
- Localización de materiales y soldaduras.
- Informe de reparaciones mayores (indicando localización).
- Certificados y resultados de pruebas.

- Procedimientos de E.N.D.
- Procedimientos de soldadura.
- Procedimientos de pruebas.
- Certificados y documentación que las especificaciones y normas aplicables requieran.

1.2.4.3 General

La empresa fabricante del condensador tiene el derecho a inspeccionar los materiales y equipos objeto de la orden de compra en cualquier momento de su realización, bien directamente o a través del personal o entidad que para ello designe, a cuyo fin sus inspectores tendrán libre acceso a los talleres o almacenes del suministrador y sus subcontratistas, y el suministrador deberá prestarles cualquier asistencia que puedan necesitar, incluyendo instrumentos y equipos necesarios.

El suministrador deberá comunicar a la empresa fabricante del condensador la fecha de realización de todas las pruebas y ensayos con una antelación mínima de diez días para que puedan asistir inspectores de la empresa fabricante del condensador.

La realización de inspecciones, pruebas o ensayos a satisfacción de la empresa fabricante del condensador o la no asistencia a las mismas por parte de la empresa fabricante del condensador, no supone que el objeto del contrato cumpla con lo convenido y no exonera al suministrador de la responsabilidad que le corresponde.

El suministrador deberá hacerse cargo de todos los gastos relacionados con los servicios prestados; la realización de los certificados e informes, homologación de certificados de laboratorios calificados, ejecución de las pruebas y aprobaciones oficiales, de acuerdo con las especificaciones, códigos y reglamentaciones aplicables.

El fabricante del condensador se reserva el derecho a efectuar los controles adicionales que considere convenientes.

Cualquier defecto encontrado será reparado inmediatamente por el suministrador a su cargo y realizará los ensayos adicionales requeridos sin coste alguno para la empresa

fabricante del condensador.

El suministrador no iniciará el envío de materiales y equipos desde sus talleres hasta que se haya recibido autorización escrita del fabricante del condensador.

1.2.5 Entrega y recepción

Salvo estipulación contraria en la orden de compra, la entrega de los materiales y equipos se efectuará:

- CIF en talleres de la empresa fabricante del condensador cuando el suministrador sea nacional.
- CIF en puerto para envíos marítimos.
- CIF frontera española para envíos terrestres cuando el suministrador sea extranjero.

Si en la orden de compra no se señala una fecha de entrega determinada y se establece únicamente el plazo de entrega, éste tendrá comienzo desde la fecha de la orden de compra o carta de intención, si la hubiera.

Las fechas de entrega no pueden retrasarse excepto por hechos imputables a la empresa fabricante del condensador y reconocidos por ésta o por causas de fuerza mayor. Para que el retraso pueda ser tenido en consideración es además requisito indispensable que su comienzo y terminación sean puestos en conocimiento del fabricante del condensador por escrito en el plazo de siete días desde que se produzcan.

Cuando no se exijan pruebas o ensayos finales, la recepción provisional por la empresa fabricante del condensador de los materiales y equipos objeto de la orden de compra se formalizara con la firma de los correspondientes albaranes o justificantes de envíos.

Cuando se exijan pruebas o ensayos finales, se extenderá un acta de recepción provisional cuando las mismas se realicen a plena satisfacción de la empresa fabricante del condensador.

La propiedad y el riesgo de los materiales y equipos pasarán a la empresa fabricante del condensador al efectuarse su entrega por el suministrador y la recepción provisional por la empresa fabricante del condensador en el lugar y en las condiciones establecidas. No obstante el suministrador autoriza a la empresa fabricante del condensador a tomar posesión de los materiales y equipos, desde que entran en sus propios talleres o en los de otros suministradores de la empresa fabricante del condensador o en obras de sus clientes y a hacer el uso que precise, incluso a realizar en ellos o con ellos obras, montajes u otros trabajos.

1.2.6 Garantías

El suministrador garantiza que todos los materiales y equipos cumplen las especificaciones acordadas y las normas y prescripciones exigibles, son nuevos, de la calidad exigida y adecuados para el fin a que se destinan.

El suministrador garantiza los materiales, mano de obra y fabricación, así como el diseño, funcionamiento y demás características estipuladas en su caso, de los equipos objeto de la orden de compra.

De conformidad con tal garantía, el suministrador, a su cargo y libre de todo gasto para el fabricante del condensador, en un plazo de tiempo razonable a ser fijado por la empresa fabricante del condensador, procederá a sustituir o reparar cualquier defecto de diseño, materiales, mano de obra, fabricación y funcionamiento. Serán a cargo del suministrador todos los gastos incurridos, incluyendo los desmontajes, montajes, mano de obra y supervisión requerida.

La decisión de ajustar, reparar o sustituir los defectuosos se tomará siempre a criterio de la empresa fabricante del condensador.

Si el suministrador, dentro del plazo razonable requerido por el fabricante del condensador, no hubiese realizado las sustituciones o correcciones necesarias, la empresa fabricante del condensador tendrá derecho a concertar con terceros la realización de las mismas con cargo al suministrador y sin pérdida de la garantía.

Si, después de realizadas las sustituciones o reparaciones, los materiales y equipos suministrados no cumplieran con las características requeridas, la totalidad del suministro será reemplazado por otro nuevo, libre de costo para la empresa fabricante del condensador y en el menor plazo posible, que en ningún caso excederá al de entrega del suministro original.

El plazo de garantía, si no se especifica otra cosa en la orden de compra, será de 24 meses a partir de la entrega.

Si al finalizar el plazo indicado, no hubieran transcurrido doce meses desde la puesta en operación del equipo o de la instalación de la que formen parte los materiales o componentes objeto de la orden de compra, el plazo de garantía quedará automáticamente extendido hasta que transcurran dichos doce meses.

Las reparaciones o sustituciones realizadas en cumplimiento de la garantía, serán a su vez garantizadas por un tiempo igual al de garantía del equipo original a partir de la terminación de las mismas.

Cuando haya transcurrido el plazo de garantía y hayan quedado subsanadas en su caso, a satisfacción de la empresa fabricante del condensador, las deficiencias o averías ocurridas durante el mismo, se procederá a la recepción definitiva de los materiales y equipos, sin que ello libere al suministrador de su eventual responsabilidad por vicios o defectos ocultos, o cualquier otra responsabilidad exigible, de acuerdo a derecho.

1.2.7 Penalidades

En caso de incumplimiento por el suministrador de las fechas de entrega de los materiales y equipos objeto de la orden de compra se aplicará una penalidad del 1 por ciento del importe de la misma por cada semana de retraso, con un tope máximo del 10 por ciento de dicho importe total.

Las diferencias técnicas que presenten los materiales o equipos sin sobrepasar las tolerancias admitidas, podrán ser objeto de penalidad de acuerdo con las condiciones

que se establezcan en su caso en la orden de compra y especificaciones técnicas correspondientes.

Estas penalidades no eximen al suministrador del cumplimiento de las garantías en toda su extensión, estando obligado a realizar en primer lugar cuanto sea posible para corregir las deficiencias técnicas observadas y a sustituir los materiales y equipos en aquellos casos en que se sobrepasen las tolerancias admisibles.

1.2.8 Embalaje y envío

Todos los materiales serán debidamente acondicionados a fin de evitar que sufran deterioro durante el transporte marítimo o terrestre. Concretamente en los casos en que se trate de equipos, todas las partes del mismo que sean susceptibles de avería o rotura, deberán ser cuidadosamente protegidas contra la humedad y asimismo contra cualquier otro posible daño. A menos que existiera indicación en contrario, todas las partes internas deberán estar limpias y recubiertas con una capa protectora de aceite o grasa.

El acondicionamiento adoptado permitirá la correcta manipulación de los materiales y equipos durante las diversas actividades de carga y descarga, así como en su caso el almacenamiento en obra de los mismos.

Si fuera necesario proceder al desmontaje parcial o total de algún equipo para facilitar su transporte, se marcarán cuidadosamente todas las partes desmontadas para hacer más fácil su identificación y así evitar posibles equivocaciones durante el montaje definitivo.

Todas las cajas deberán ir marcadas o etiquetadas con claridad, indicando el número completo del pedido y, si fuese necesario, también el número de partida al que corresponde.

Los suministros correspondientes a diferentes pedidos no se embalarán conjuntamente bajo ningún concepto. En el interior de cada embalaje se incluirá una lista debidamente protegida contra la humedad, grasa, etc., que relacione su contenido.

Los embalajes, los materiales y equipos en su caso, llevarán claramente indicados los

puntos en que deberán sujetarse para su manejo y estarán preparados para tal fin.

Cualquier daño o pérdida que pudieran sufrir los materiales y equipos objeto de esta orden de compra durante su transporte debido a un embalaje deficiente o una protección inadecuada será repercutido al suministrador.

Para proceder al envío de los materiales y equipos deberá contarse con la aprobación de la empresa fabricante del condensador.

En el momento de efectuarse el envío y adicionalmente a la documentación que acompañe al mismo, el suministrador enviará al departamento de compras de la empresa fabricante del condensador dos copias de cada uno de los albaranes de envío.

1.2.9 Cancelación

La empresa fabricante del condensador puede cancelar la orden de compra, total o parcialmente, en cualquier momento, mediante notificación al suministrador. Al recibo de dicha notificación, el suministrador deberá suspender inmediatamente todo el trabajo relacionado con la orden de compra. Igualmente, deberá suspender los subpedidos de materiales y suministros relacionados con esta orden de compra y en adelante sólo se hará lo necesario para preservar y proteger el trabajo ya comenzado.

El pago del trabajo ya completo o a punto de completarse en el momento de recibirse la notificación de cancelación, se ajustará mediante acuerdo mutuo y razonable entre el suministrador y la empresa fabricante del condensador.

La empresa fabricante del condensador podrá cancelar la orden de compra mediante notificación escrita al suministrador, sin que implique coste para la empresa fabricante del condensador en los siguientes casos:

- La declaración de quiebre del suministrador, a instancias de acreedores, la presentación por el suministrador de solicitud de quiebra voluntaria o de suspensión de pagos, liquidación de bienes o traspaso de los mismos en beneficio de sus acreedores, embargos preventivos y otras medidas similares.
- La disolución, reducción de capital o venta a terceros de la compañía del

suministrador.

- Si se produjesen retrasos en la entrega de los materiales y equipos por tiempo superior a la tercera parte del plazo total de entrega.
- Si el suministrador incumple cualquier disposición de la orden de compra.

En caso de cancelación de la orden de compra, el suministrador abonará al fabricante del condensador las cantidades cobradas a cargo de la misma, excepto en el caso de que el fabricante del condensador hiciese uso del derecho que se reserva en el párrafo siguiente.

En caso de cancelación de la orden de compra la empresa fabricante del condensador tiene el derecho a su libre elección de tomar posesión de los materiales, herramientas, derechos y planos necesarios para terminar el trabajo por los medios que estime oportunos. En dicho caso el suministrador dejará de percibir cualquier pago hasta que el trabajo fuera terminado y si las cantidades pendientes de pago excedieran a los gastos necesarios para terminar el trabajo, la diferencia sería abonada al suministrador, si por el contrario dichas cantidades fueran inferiores, el suministrador pagaría al fabricante del condensador la diferencia.

Sin perjuicio de lo anterior el fabricante del condensador se reserva el derecho de reclamar los daños y perjuicios pertinentes.

1.2.10 Propiedad industrial

El suministrador garantiza mantener libre e indemnizar a la empresa fabricante del condensador de y contra cualquier pérdida, gasto, obligación y reclamación de responsabilidades derivadas a consecuencia de la fabricación o venta de cualquier aparato, equipo, materiales y/o suministros objeto de la orden de compra o cualquier utilización de los mismos que pueda dar lugar a cualquier reclamación por infracción de derechos de la patente, marcas, propiedad intelectual o industrial.

No será aplicable en su caso cuando los equipos se construyan bajo planos de la empresa fabricante del condensador.

Toda la documentación técnica, planos, diseños y especificaciones facilitadas por la empresa fabricante del condensador al suministrador, serán considerados como propiedad exclusiva de la empresa fabricante del condensador, debiendo ser considerados confidenciales y no podrán ser facilitados a terceros, copiados ni usados para otro fin que el de la orden de compra sin el previo consentimiento escrito de la empresa fabricante del condensador.

1.2.11 Seguros

El suministrador está obligado a asegurar a su cargo la pérdida o daños que puedan sufrir los materiales y equipos objeto de la orden de compra durante su manipulación y transporte hasta el momento y lugar de su entrega y recepción provisional por la empresa fabricante del condensador.

Cuando la orden de compra incluye la realización de trabajos o prestación de servicios en obras o instalaciones de la empresa fabricante del condensador, el suministrador se obliga a asegurar de forma suficiente, durante todo el tiempo correspondiente al cumplimiento del contrato, la responsabilidad civil por daños y perjuicios que puedan originar por si o por su personal y el de sus proveedores o subcontratistas, a personal o bienes de la empresa fabricante del condensador y/o terceros.

1.2.12 Responsabilidad

El suministrador se obliga a cumplir todas las obligaciones de carácter administrativo, fiscal y laboral que le sean exigibles en el cumplimiento de la orden de compra.

Cuando se incluyan trabajos o prestaciones de servicios en obras o instalaciones de la empresa fabricante del condensador, el suministrador se obliga a que el personal en dichas obras o instalaciones esté integrado en su plantilla o debidamente contratado, dado de alta en la seguridad social, asegurado del riesgo de accidentes de trabajos y al corriente en el pago de salarios y seguros sociales, debiendo justificarlo documentalente a la empresa fabricante del condensador cuantas veces se lo requiera.

El suministrador garantiza que los equipos y materiales entregados en cumplimiento del contrato son de su plena propiedad o libre disposición y están libres de cargas y

gravamen de terceros.

Todos los materiales y equipos que la empresa fabricante del condensador entregue al suministrador, por el motivo que fuere, se considerarán bajo custodia del suministrador y éste será responsable de los mismos ante la empresa fabricante del condensador.

El suministrador exime a la empresa fabricante del condensador de toda responsabilidad por el incumplimiento de las obligaciones anteriores, así como por sus actos u omisiones o los de su personal durante el cumplimiento de la orden de compra, obligándose a dejar a la empresa fabricante del condensador al margen de cualquier reclamación o demanda por ello motivada y a indemnizar a la empresa fabricante del condensador de todos los daños y perjuicios que pudieran motivarse, directa o indirectamente, de tales reclamaciones o demandas.

1.2.13 Fuerza mayor

Se considerarán causas de fuerza mayor las catástrofes naturales, incendios de carácter catastrófico, las inundaciones oficialmente declaradas catastróficas, las huelgas legales que excedan del vendedor y cuya terminación no depende del mismo, guerras, epidemias y revueltas.

El suministrador en caso de que sucediese un hecho que pueda considerarse como de fuerza mayor, lo pondrá en conocimiento de la empresa fabricante del condensador por escrito en un plazo máximo de siete días indicando las causas y la duración estimada así como la repercusión en el suministro objeto de la orden de compra.

En caso de retraso por una de estas causas, los plazos de entrega de la orden de compra se prorrogarán como máximo en el mismo periodo de tiempo que el perdido debido a fuerza mayor.

El suministrador no tendrá derecho a ninguna indemnización por la eventual aplicación de cualquier causa de fuerza mayor.

1.3 ESPECIFICACIONES DE MATERIALES Y EQUIPOS

1.3.1 Equipos y material

El material suministrado en este proyecto comprende:

- (1) Un condensador de superficie de cuerpo único, un nivel de presión, un paso único del flujo de vapor a través de los dos haces tubulares y cada haz con doble paso del agua de circulación con tubos de titanio y placas tubulares de acero al carbono plaqueadas con titanio.

El condensador se ha prefabricado en el taller en el mayor grado posible (módulos), al objeto de reducir el tiempo de montaje en campo.

El condensador esta formado por los siguientes componentes / sistemas:

- (2) Haces tubulares con tubos de titanio B-338-Gr.2 (D.ext. 1 “ / longitud efectiva = 7 212 mm / 4 834 tubos con un espesor nominal de 0,558 mm – BWG 24, para los tubos de la zona de condensación e incondensables y 478 tubos con un espesor nominal de 0,711 mm – BWG 22, para los tubos de impacto ubicados en las dos primeras filas de la mitad de los dos haces tubulares situadas más próximas a la descarga de la turbina, las cantidades indicadas son para dos bancos / total tubos = 5 312), envolvente y placas soporte de SA-516 Gr70, placas tubulares de acero al carbono de SA-516 Gr70 plaqueadas con titanio B-265-Gr.1 (40 mm / A.C. + 5 mm Ti = 45 mm), la placa tubular va soldada al cuello del cuerpo (en el extremo del haz tubular donde están situadas las cajas de agua de salida, el cuello del cuerpo tiene instalada una junta de expansión de acero al carbono). En el lado de entrada de vapor en los haces tubulares se instalará una pantalla protectora compuesta por una fila de redondos macizos de 25 mm de diámetro que saldrá instalada de los talleres para proteger los haces durante el transporte y el montaje además de facilitar y reducir el periodo de montaje. La unión del tubo a la placa tubular será expandida y soldada. En la parte inferior de cada placa hay bandejas recogedoras que permiten detectar fugas en la unión tubo/placa tubular (los conductivímetros son suministrados por otros).

- (2) cajas de agua de circulación de entrada y (2) cajas de agua de circulación de salida con una puerta de acceso de 30” cada caja. Estas cajas son tipo capó atornilladas a las placas tubulares y su superficie interior se ha protegido con un recubrimiento/engomado de neopreno de 5 mm. de espesor. Y conexiones para un sistema de corrientes impresas suministrado por otros.
- (1) pozo de condensados integrado con una puerta de acceso de 30”. Se ha suministrado en una pieza con sus conexiones. En el pozo se ha instalado un sistema de vapor de calentamiento del condensado para ser usado en los arranques y/o ante caudales altos de *make-up*.
- (1) sumidero con tres conexiones de salida de condensados de 14” cada una con una malla antitorbellino.
- (1) cuello del condensador con junta de expansión de acero inoxidable (multifuelle de calidad SA 240 tp 316) y brida de unión para la conexión del condensador con el cuello de turbina. Se suministrará en una pieza. Se incluye una brida ciega de chapa de acero al carbono para aislar el condensador de la turbina durante la prueba de estanqueidad.
- (1) Cuello del condensador con una puerta de acceso de 30”. Se suministrará en dos mitades con todas sus conexiones montadas. Se incluyen tuberías de descarga de los bypass de la turbina de vapor y un sistema de cortina de agua que protegerá los internos de la turbina y del condensador al operar en modo “*by-pass*”. También se instalará un sistema interno de desgasificación del “*make-up*” (*Agua de aporte*).
- (2) tuberías de descarga en el condensador para *by-pass* (HP) de 20”
- (2) tuberías de descarga en el condensador para *by-pass* (LP) de 14”
- (1) Válvula rompedora de vacío de 4” con actuador neumático y pilotada con válvula de solenoide (230 V / AC) .
- Además se ha suministrado los siguientes accesorios para mantenimiento y

puesta en marcha:

- (1) Juego de juntas de repuesto para las puertas de acceso.
- (1) Juego de juntas de repuesto para las bridas de las cajas de agua.
- (74) Tapones para condenar tubos con fugas o dañados .

1.3.2 Materiales y requerimientos de fabricación

Los siguientes materiales ASTM/ASME son recomendados por el comprador. El suministrador podrá sugerir materiales alternativos, de acuerdo con su experiencia y práctica:

- | | |
|---|--------------------------------|
| - Carcasa, pozo y cuello condensador: | SA 516 Gr 70 |
| - Cajas de agua: | SA 516 Gr 70 |
| - Tubos: | Titanio B338 Gr 2 |
| - Placas tubulares: | Titanio B265 Gr 1/SA 516 Gr 70 |
| - Placas soporte: | SA 516 Gr 70 |
| - Junta de expansión: | SA 240 tp 304 |
| - Tubería de eliminación de incondensables: | SA 312 tp 304L |
| - Tuberías de spray, baffles: | SA 312 tp 304L |
| - Pernos: | Acero inoxidable |
| - Internos: | Pernos: SA 193 Gr B7 |
| - Externos: | Tuercas: SA 194 Gr 2H |

1.3.2.1 Soldaduras

Todas las soldaduras serán según con ASME IX o equivalente, todos los soldadores, inspectores de soldaduras y procedimientos de soldadura requieren ser cualificados.

Las soldaduras de acero inoxidable deberán utilizar el soldeo por arco con gas de tungsteno, el metal de aportación de acero inoxidable que se requiera debe ser de la misma composición que el metal que se suelde. Las soldaduras entre placa tubular y los tubos según ASME VIII, Division 2, artículo F-3.

Se deben preparar procedimientos específicos y suministrados para la aprobación del comprador para la preparación de superficies y limpieza de las soldaduras de acero inoxidable , como también para la inspección y pruebas de test.

1.3.2.2 Test de fabricación

Durante la fabricación los siguientes test se deben realizar con los códigos y standares requeridos:

a) Soldaduras:

- Test no-destructivos de las soldaduras como se establece en el código que aplica del ASME VIII División 1.

Examinar por ultrasonidos los límites de la soldadura, de todas las soldaduras en campo de las partes sometidas a presión que son mayores de 10 mm. La examinación debe cubrir al menos un área igual al espesor (por lo menos 33 mm).

b) Plaqueado de Titanio:

- Después del plaqueado y del tratamiento térmico se deberá:
 - 100 % de examinación por ultrasonidos en todas las direcciones perpendiculares. Adicional 100 % examinación del ligamento después de taladrar las placas.
 - Criterio de aceptación:

Despegues < 2 % de la superficie total.

Despegues < 600 mm² con la excepción de áreas localizadas sin agujeros.

Distancia entre áreas con despegues > 50 mm.

- Líquidos penetrantes tests de la superficie de la placa. No debe indicarse poros ni grietas en las placas.
- Reparación con soldadura no está permitido.

c) Montaje de los tubos en la placa tubular:

- Control de la expansión de los tubos. Control dimensional con tolerancias y acabados según con el HEI standares para condensadores de vapor de superficie.
- 100 % test de líquidos penetrantes de todas las soldaduras entre tubo y placa. No debe haber indicaciones de grietas.
- Test de fugas de la junta tubo y placa tubular. Se debe preparar un procedimiento.

d) Resto de actividades (premontaje).

Test de verificación de los despegues del recubrimiento interior de las cajas de agua.

1.4 NOTAS GENERALES PARA LOS EQUIPOS

1.4.1 Fabricación o modificación de piezas y equipos

Siempre que se suministren materiales y equipos complementarios, no especificados de una forma concreta, deberán ser elementos estándar, de fácil disponibilidad en el mercado.

En caso de que se necesite la fabricación o modificación de piezas y equipos, ésta debe comenzar inmediatamente después de recibir la orden de compra.

El vendedor no detendrá la fabricación, en espera de la recepción de la aprobación final, salvo indicación en contra de la especificación, requisición o pedido correspondiente.

1.4.2 Cambios de diseño

Los materiales seleccionados para la construcción especificados en la requisición de compra de los equipos, no podrán ser sustituidos sin previa autorización escrita del cliente. En cualquier caso, tal aprobación no eximirá al vendedor de la responsabilidad de que todos los materiales suministrados por él sean los adecuados.

1.4.3 Documentación y planos

Todos los planos, ya sean preliminares o finales, serán certificados e identificados individualmente por el vendedor, mostrando todas las dimensiones que pueda precisar el cliente para su correcta comprensión.

Asimismo, todos los datos de la documentación técnica y los planos enviados con la oferta serán adecuados para los equipos de este proyecto en particular, no admitiéndose documentación genérica.

Siempre que sea necesario, se indicarán los espacios libres requeridos para el montaje y/o desmontaje de partes o equipos auxiliares, indicando claramente todas las conexiones, soportes, diagramas de cableado, etc.

1.4.4 Catálogo mecánico

Junto a la documentación necesaria para la realización y aprobación del proyecto por las autoridades competentes, una vez finalizado éste, deberá proporcionarse un completo Catálogo Mecánico de la instalación.

En este Catálogo Mecánico se incluirá toda la información descriptiva que suministre el vendedor, convenientemente clasificada e identificada, de acuerdo a estas notas generales. Deberá incluirse toda la documentación concerniente a todos los equipos suministrados, incluyendo los que se obtengan de terceros.

Los contenidos mínimos del Catálogo Mecánico son:

- Índice completo en cada uno de los tomos de toda la información incluida en el Catálogo.
- Instrucciones completas para la instalación, operación y mantenimiento de los equipos principales y de todos sus auxiliares.
- Características técnicas y de funcionamiento de todos los equipos instalados, incluyendo los datos posibles de intercambiabilidad de piezas entre los equipos.
- Planos de sección con vistas completas de piezas, que incluyan denominación, marca y tipo de material de cada pieza, incluyendo todos los equipos accesorios.
- Certificados de prueba y funcionamiento garantizados según las especificaciones, incluyendo hojas de datos de ensayos, curvas de funcionamiento, etc.

Las instrucciones de mantenimiento incluirán información sobre las tolerancias de ajuste de los elementos principales de la máquina, así como un cuadro completo de las causas y remedios de las posibles anomalías que pudieran presentarse durante el funcionamiento del equipo.

El contratista deberá enviar dentro de los diez días siguientes a la aprobación final de los planos y finalización de las pruebas de los equipos, los juegos completos de los Catálogos Mecánicos requeridos.

1.5 NOTAS GENERALES PARA INSPECCIÓN

Se llevaran a cabo las inspecciones referidas a la recepción de materiales, equipos y auxiliares, fabricación y montaje, realización de test, como también las actividades finales de etiquetado, imprimación inicial y empaquetado para envío.

El suministrador deberá entregar al comprador tres programas de puntos de inspección para aprobar, uno para la fabricación de los tubos, otro para la fabricación y montaje en taller del resto del equipo, y el último para montaje en campo.

Estos programas de inspección de puntos se harán de una forma detallada de cada una de las partes que intervienen; del acopio de materiales, fabricación y pruebas de test, empaquetado de envío y montaje en campo, en la cuál los puntos de inspección a realizar serán suministrados por el fabricante del equipo.

El programa de inspección será de acuerdo con los standares ASTM para tubos de titanio, además los certificados de la calidad de los materiales serán facilitados al comprador antes de la fabricación.

En referencia a la inspección y pruebas de test requeridos para la fabricación del condensador en taller y las actividades antes de la autorización del envío, el programa de inspección será de acuerdo con los códigos y standares que apliquen , los materiales sometidos a presión serán inspeccionados y se realizarán tests de acuerdo con ASME VIII. Todos los materiales se suministrarán con los certificados de calidad de acuerdo con los standares apropiados (ASTM). Las soldaduras serán inspeccionadas según ASME IX.

El suministrador también llevará a cabo las inspecciones de los recubrimientos, limpieza, empaquetado y envío, indicando los procedimientos que apliquen.

1.5.1 Certificados De Materiales

Todo el material que no esté perfectamente identificado y con certificación de materiales adecuados será automáticamente rechazado.

Por otra parte, el suministrador o contratista presentará al inspector de todos los certificados, gráficos, resultados de ensayos, etc. en el momento de la inspección. El inspector no aceptará ningún material hasta que haya recibido, revisado y aceptado estos documentos.

Normalmente el inspector aceptará certificados de materiales y ensayos fiables, preferentemente aquellos que procedan de agencias de inspección independientes, sin necesidad de presenciarlos.

1.6 LIMPIEZA Y RECUBRIMIENTOS

1.6.1 General

Todos los elementos del equipo deben ser limpiados en el taller siguiendo los procedimientos aprobados, tanto interiormente como en el exterior, antes de su transporte.

Todos los residuos de la fabricación, virutas de metal, varillas de soldadura, basura, etc, deben ser eliminados del interior de cada componente. Además resto de grasa, suciedad, restos de pintura y otros materiales resultantes de la fabricación deben ser eliminadas de las superficies interiores y exteriores.

El acabado de superficies, protección y pintura de los equipos en el taller deben ser llevados a cabo con los requerimientos siguientes.

1.6.2 Limpieza de superficies de acero al carbono

Aceite, grasas, etc, deben ser eliminados de las superficies usando agentes limpiadores apropiados antes de eliminar los óxidos.

El uso de detergentes en caliente o disolventes halogenados en fase vapor no está permitido. Los óxidos deben ser eliminados mediante el granallado SA 2 1/2 de acuerdo con los estándares SIS 05 5900, La rugosidad obtenida no debe ser mayor de 30 micras. A continuación del granallado, el polvo debe ser aspirado para eliminarlo de las superficies.

1.6.3 Pintura de las superficies externas

La pintura debe ser preparada y aplicada de acuerdo con la especificación de pintura aprobada por el cliente. La imprimación inicial debe ser aplicada con una brocha o con pistola de aire inmediatamente después de preparar y limpiar las superficies.

La pintura final debe ser aplicada después de que el equipo haya sido montado en la planta.

La superficie exterior de las cajas de agua y del cuerpo deben ser pintadas siguiendo el siguiente método:

- Preparación de las superficies granalladas a SA 2 1/2.
- Primera capa:

Tipo:	Epoxi de fosfato de zinc
Nº capas y espesor:	1 x 75 micras
Espesor mínimo:	75 micras
- Capa intermedia:

Tipo:	Epoxi repintable de óxido de hierro micáceo
Nº capas y espesor:	1 x 125 micras
Espesor mínimo:	125 micras

1.6.4 Protección de superficies internas

Después de preparar y limpiar las superficies, las cajas de agua serán protegidas con un recubrimiento interno de 5 mm de espesor de neopreno.

Todas las partes internas de acero al carbono serán protegidas con un inhibidor de corrosión soluble en agua, fácilmente eliminable durante el test hidrostático, que será aplicado inmediatamente después de la limpieza y eliminado de las superficies antes de la operación en la planta.

Las partes de acero inoxidable, los tubos y el plaquero de titanio no deberá ser protegido con ningún tipo de recubrimiento superficial o pintura, excepto la protección concebida para su transporte.

1.6.5 Protección e identificación para el transporte

Después de la fabricación y las pruebas de taller, el equipo debe ser limpiado, preparado y empaquetado de acuerdo a la ruta (tierra) en la cuál será transportado hasta la central.

El procedimiento que se debe seguir para el envío será acordado con el cliente:

- El centro de gravedad de cada paquete y los puntos por donde se izan (orejetas), deben ser claramente identificados para que asegurar totalmente la estabilidad y evitar esfuerzos de torsión en el montaje.
- La protección debe ser resistente al fuego y al ambiente exterior, para poder mantenerse almacenado por lo menos durante un año en la intemperie.
- El equipo debe ser protegido contra daños de tipo mecánicos, oxidación, entrada de cuerpos extraños y las duras condiciones del transporte.

Debe tenerse un especial cuidado en proteger los tubos contra posibles daños de cuerpos extraños, por lo que el haz tubular se protegerá con una manta metálica. El interior del cuerpo se protegerá especialmente de la humedad y de la corrosión.

Cada uno de los paquetes que se envíen debe ser etiquetado en la parte exterior con las instrucciones apropiadas y con la suficiente información para la identificación del contenido, nombre de la planta, la unidad a la que será asignada, nombre del fabricante, número de orden de compra y peso total. la etiqueta deberá ser visible y sin ninguna posibilidad de error en la identificación de los elementos.

1.7 PROGRAMA DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO

El programa de ejecución del proyecto se ha realizado sobre la base de trece meses, las partes integrantes del desarrollo del proyecto son esencialmente la ingeniería, acopio de materiales y equipos auxiliares, fabricación del condensador, premontaje en taller del pozo de condensados, cuello, cajas de agua y carcasa del condensador y pruebas de inspección.

El cuello superior y la junta de expansión es lo primero que se suministra, a los ocho meses del inicio del proyecto, posteriormente los equipos auxiliares como el sistema de

limpieza continuo, los filtros del agua de circulación, las bombas de vacío y válvula rompedora de vacío. Finalmente se mandan el cuello inferior, las cajas de agua, el pozo de condensados y los haces tubulares.

1.8 PLIEGO DE CONDICIONES ECONÓMICAS

1.8.1 Oferta

1.8.1.1 Precio y condiciones de pago

Los precios indicados en la oferta incluyen el suministro del intercambiador de calor y equipo auxiliar debidamente acondicionados sobre vehículo de acuerdo con las instrucciones del transportista, con embalaje si fuese necesario a juicio de la empresa fabricante del condensador y están supeditados a la aceptación por el comprador de las presentes condiciones legales.

Dichos precios no incluyen el impuesto sobre el valor añadido (IVA), que será a cargo del comprador, así como tampoco los servicios de inspección por sociedad clasificadora.

En el caso de que las condiciones de pago indicadas en esta oferta contengan ciertos pagos supeditados a la entrega del equipo, o parte del mismo, o a la realización de determinadas operaciones, como por ejemplo las pruebas de funcionamiento y dicha entrega u operaciones sean diferidas o suspendidas por causas no atribuibles al fabricante del condensador, los mencionados pagos deberán ser hechos efectivos por el comprador dentro de los treinta días siguientes a la fecha en que el equipo esté dispuesto para el envío o a la fecha de comunicación por la empresa fabricante del condensador de que ya se pueden efectuar aquellas operaciones.

En el caso de que haya pagos supeditados al montaje y/o a operaciones posteriores y el comprador renuncia a, o suspende total o parcialmente, dicho montaje, sea cualquiera la causa, los pagos pendientes deberán ser efectuados por el comprador en el momento de la suspensión o renuncia. Si el comprador está en mora en los pagos, salvo cuando aquella sea imputable a un hecho u omisión de la empresa fabricante del condensador esa sociedad podrá suspender el cumplimiento de sus obligaciones hasta que los pagos

se normalicen, así como podrá exigir intereses por dicha demora conforme a la tasa oficial vigente.

La oferta ha sido establecida en base a los precios de materiales y condiciones de trabajo vigentes en la actualidad y por lo tanto, la empresa fabricante del condensador se reserva la facultad de revisar y variar, en su caso, los precios cotizados de acuerdo con las modificaciones que sufriesen las condiciones anteriores, durante la ejecución de los trabajos, debidas a aumentos de precios de los materiales, jornales y cargas sociales que alterasen el coste previsto del equipo que se contrate.

1.8.2 Compra

1.8.2.1 Precios y condiciones de pago

Los precios objeto de la orden de compra son firmes e incluyen todos los impuestos y árbitros aplicables al objeto de la misma, a excepción del IVA.

La facturación se realizará como sigue:

- Plazos de entrega hasta 3 meses.
100 % a la entrega total de los materiales y equipos.
- Plazo de entrega entre 3 y 6 meses.
5% a la aceptación de la orden de compra.
95% a la entrega total de los materiales y equipos.
- Plazos de entrega superiores a 6 meses.
5% a la aceptación de la orden de compra.
5% a la entrega de planos generales, plan de control de calidad y programa de puntos de inspección.
90% a la entrega total de los materiales y equipos.

El último pago se realizará previa entrega de un aval bancario, por un valor igual al 100% del precio total de la orden de compra y con validez hasta la finalización del periodo de garantía.

La empresa fabricante del condensador se reserva el derecho a retener cualquiera o la totalidad de los pagos si, no fueran cumplidos los requisitos de la orden de compra.

Para llevar a cabo la facturación el suministrador se atenderá a las siguientes normas:

- Todas las facturas serán remitidas por triplicado a la empresa fabricante del condensador, departamento de contabilidad.
- La factura que cubra el pago a la aceptación del pedido será soportada con una copia de éste, firmada y sellada por el suministrador.
- La factura que cubra el pago de acopios será soportada con los correspondientes certificados.
- La factura que cubra el pago a la entrega de materiales será soportada por:
- Autorización de envío emitido por la empresa fabricante del condensador.
- Albaranes de entrega debidamente conformados.
- En general, cualquier factura irá acompañada de los documentos que justifiquen el cumplimiento del hito que corresponde.

Los pagos se realizarán a los noventa días de la fecha de entrada de la factura en el departamento de contabilidad de la empresa fabricante del condensador.

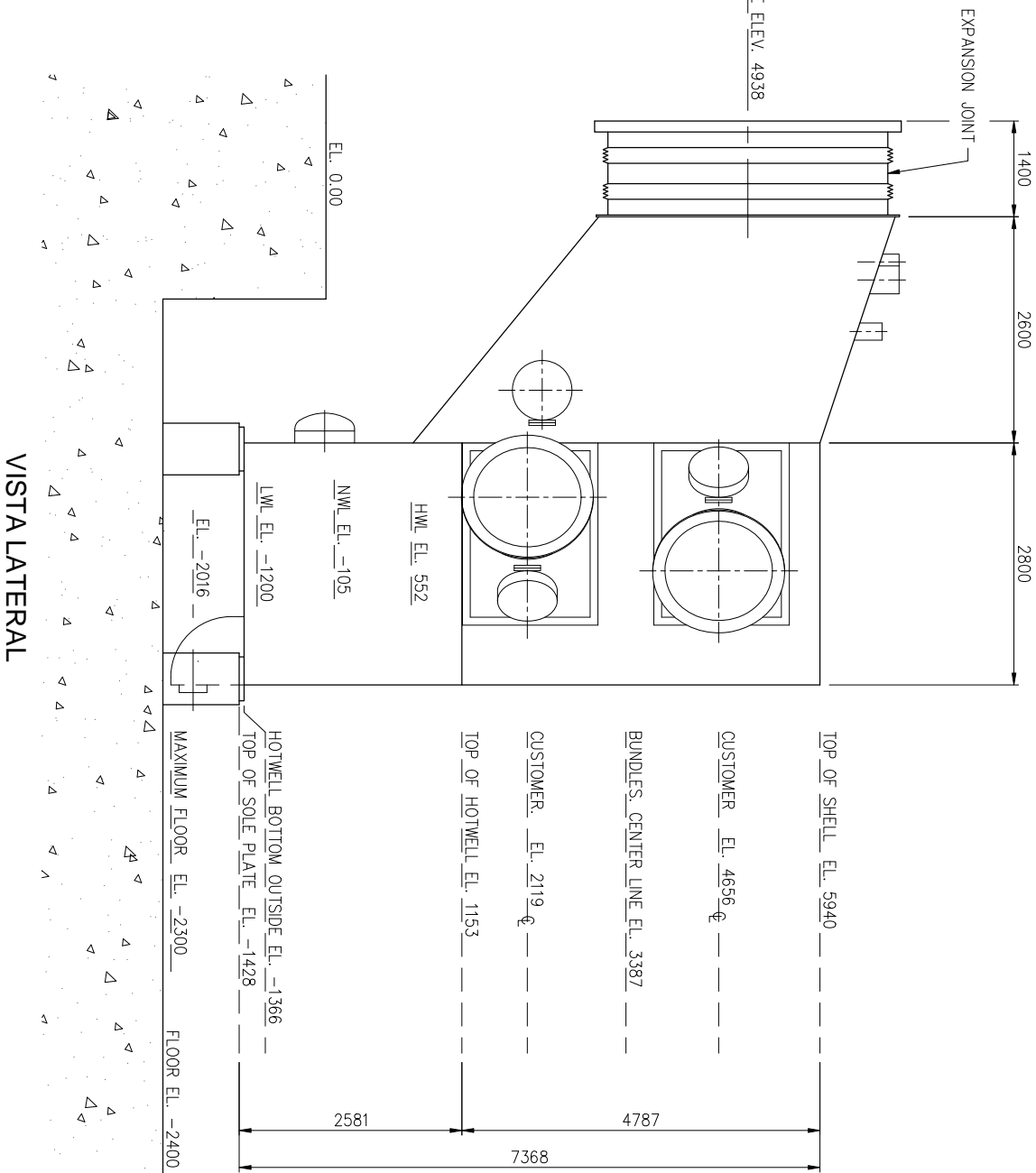
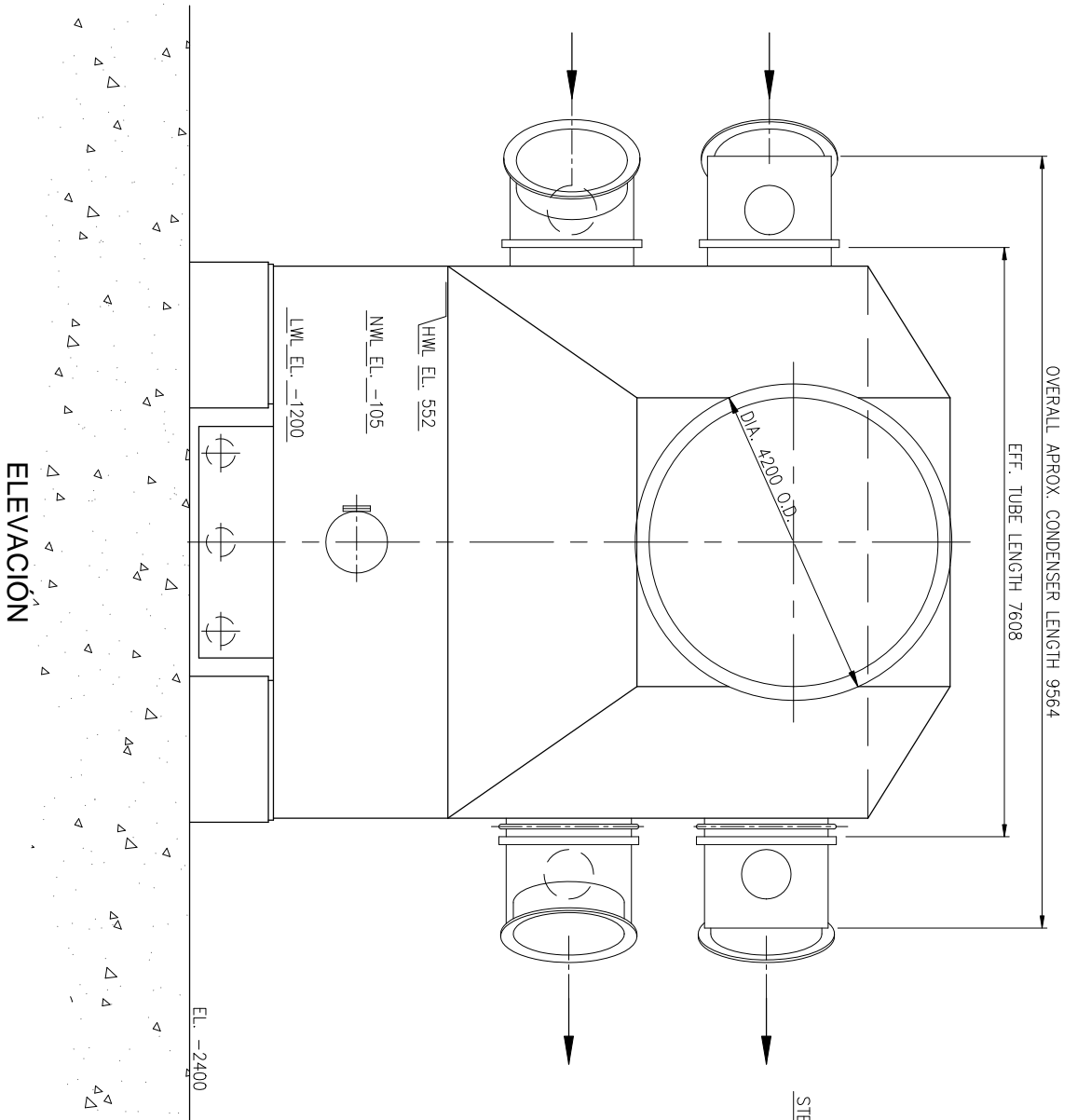
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE
INGENIEROS INDUSTRIALES**

**DISEÑO DE UN CONDENSADOR DE VAPOR
AXIAL PARA UNA CENTRAL DE CICLO
COMBINADO**

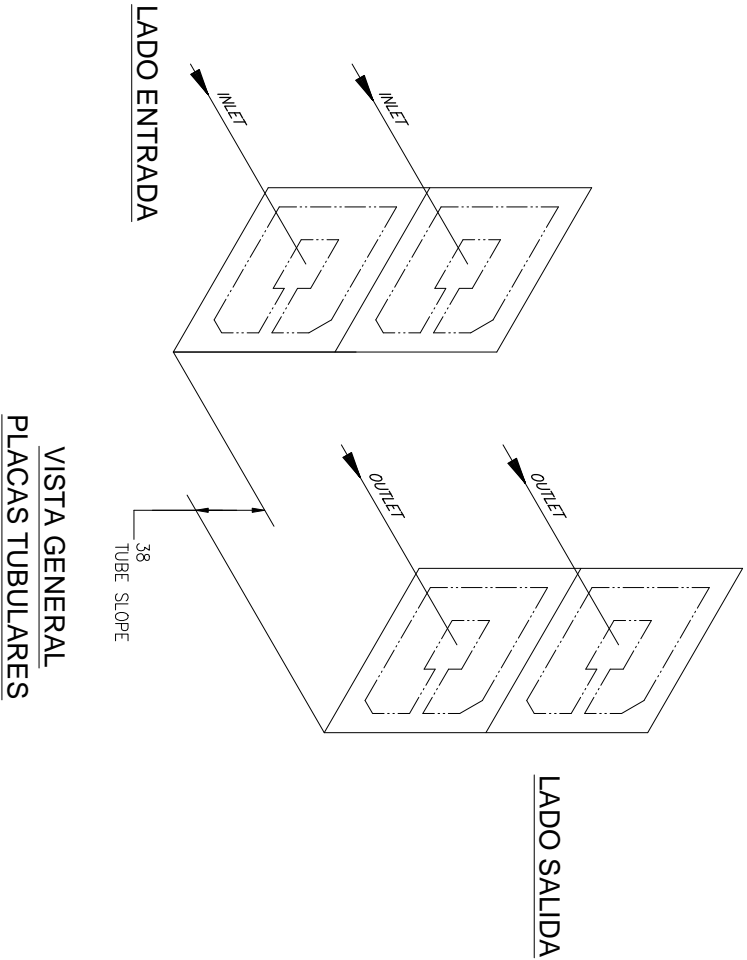
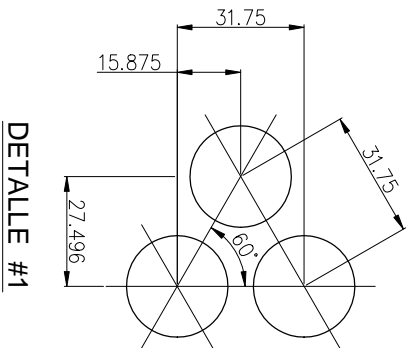
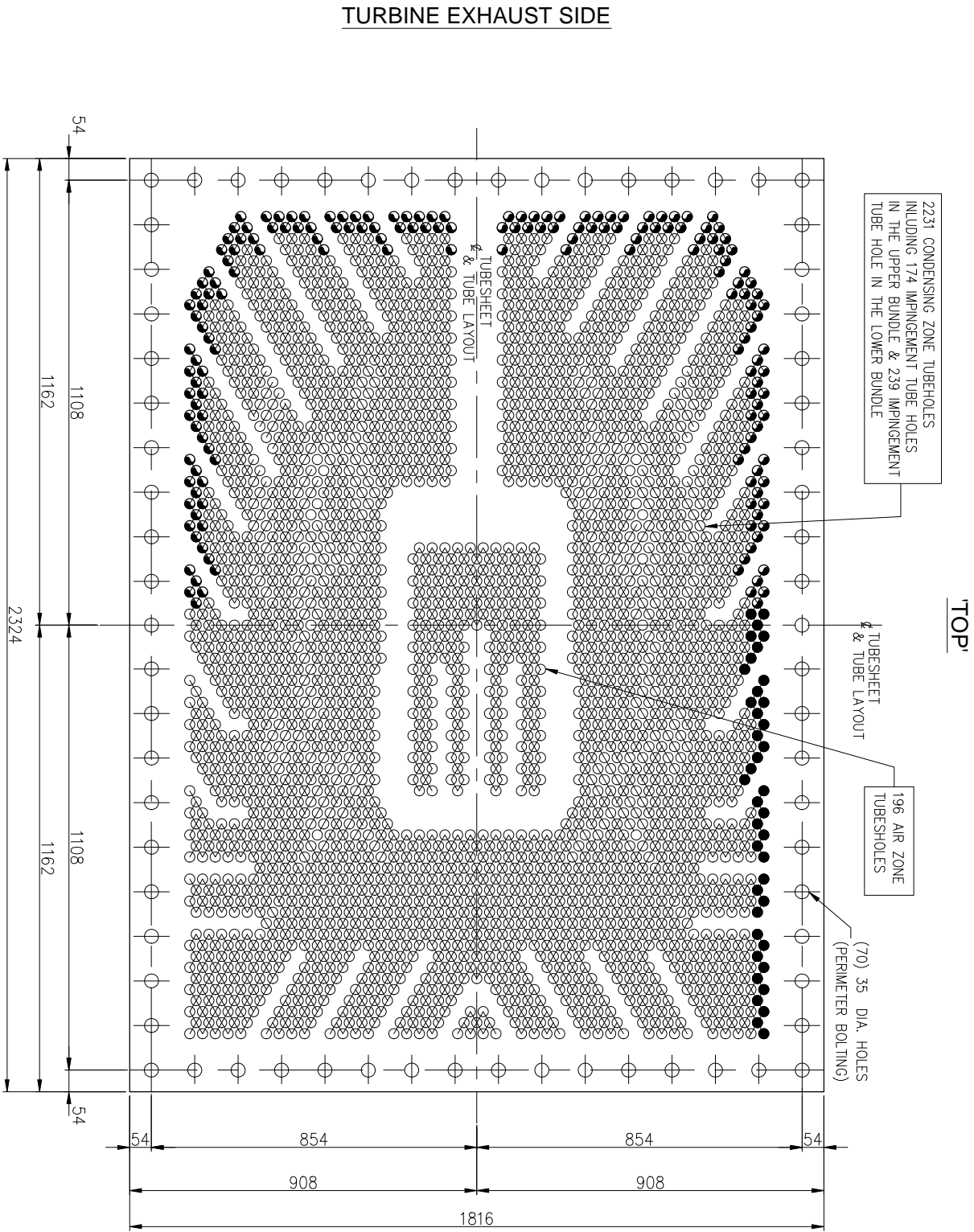
DOCUMENTO N° 5 PLANOS

DIEGO TORRES ARROJO

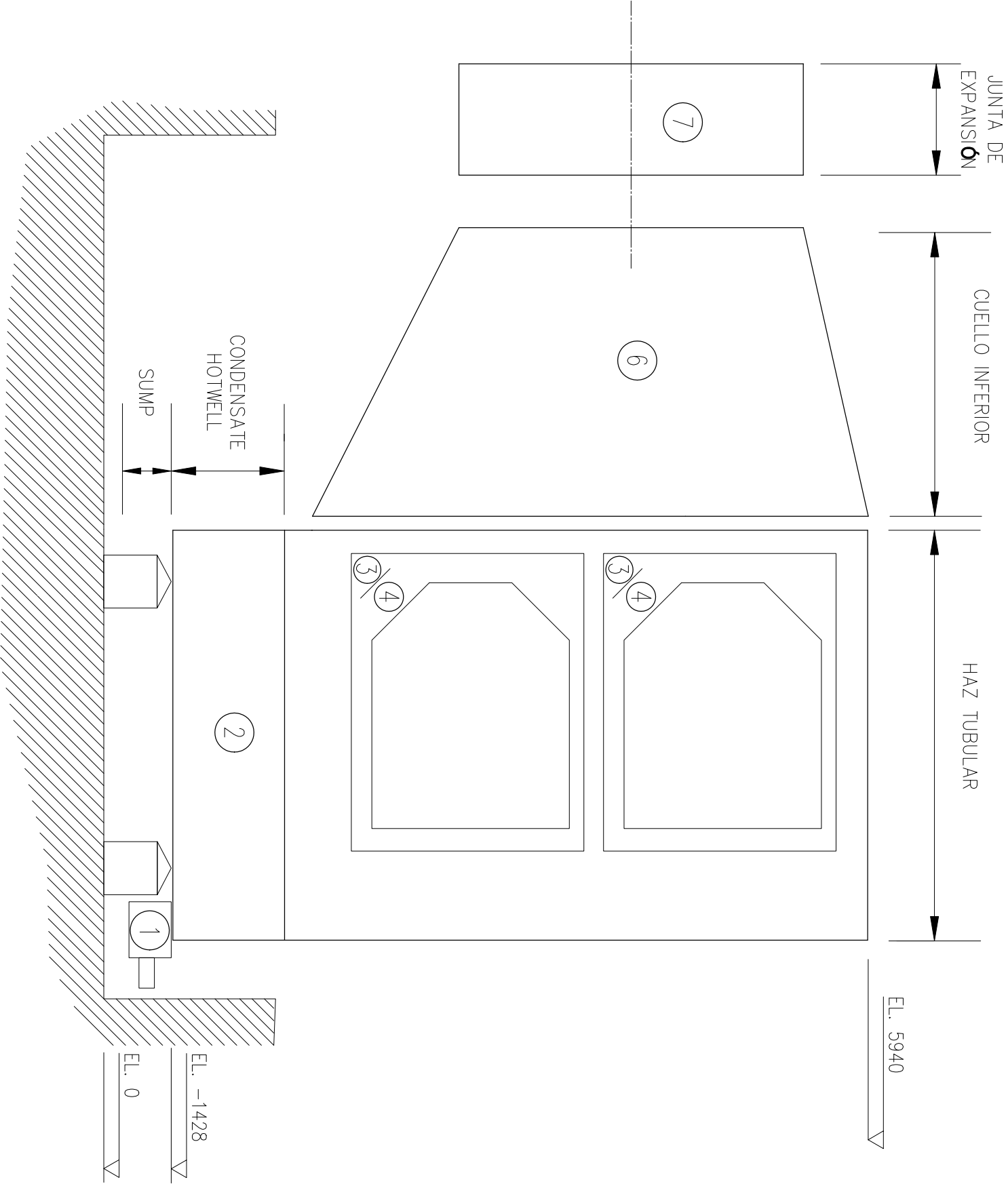
FEBRERO 2012



E.T.S. DE INGENIEROS INDUSTRIALES		
Autor: DIEGO TORRES ARROJO	DISEÑO DE UN CONDENSADOR AXIAL PARA UNA CENTRAL DE CICLO COMBINADO	
Escala: SIN ESCALA		
Fecha: 6-02-2012		
Nº de plano: 1		
Nº de orden: 1	DESCRIPCION GENERAL DEL CONDENSADOR	



E.T.S. DE INGENIEROS INDUSTRIALES		
Autor: DIEGO TORRES ARROJO	DISEÑO DE UN CONDENSADOR VERTICAL PARA UNA CENTRAL DE CICLO COMBINADO	
Escala: SIN ESCALA		
Fecha: 6-02-2012		
Nº de plano: 2		
Nº de orden: 2	PLACA TUBULAR	



NOTAS:

- (N) INDICA EL ORDEN PROPUESTO DE MONTAJE EN CAMPO DE LOS ELEMENTOS PREFABRICADOS EN TALLER.
- EL MONTADOR DEBERA AJUSTAR ESTA SECUENCIA A LOS MEDIOS, PLAZO, ESPACIO Y ACCESOS DISPONIBLES.

E.T.S. DE INGENIEROS INDUSTRIALES		
Autor: CARLOS MUÑOZ ESPINOSA	DISEÑO DE UN CONDENSADOR VERTICAL PARA UNA CENTRAL DE CICLO COMBINADO	
Escala: SIN ESCALA		
Fecha: 6-02-2012		
Nº de plano: 3		
Nº de orden: 3	SECUENCIA DE MONTAJE	